

Содержание

Краткий справочник по теме «Механика»	1
Кинематика	1
Динамика	6
Законы сохранения	9
Краткий справочник по теме «Электродинамика»	11
Электростатика	11
Постоянный ток	16
Магнитное поле. Электромагнитная индукция	20
Краткий справочник по теме «Колебания и волны»	25
Механические и электромагнитные колебания	25
Механические и электромагнитные волны	28
Краткий справочник по теме «Оптика. СТО»	29
Геометрическая оптика	29
Волновые свойства света	33
Основы СТО	34
Краткий справочник по теме «Основы МКТ и термодинамики»	35
Основы МКТ	35
Термодинамика	38
Краткий справочник по теме «Квантовая физика»	42
Основы квантовой физики	42
Ядерная модель атома	43
Атомное ядро и элементарные частицы	44

Краткий справочник по теме «Механика»

Кинематика

1. Механическое движение. Характеристики механического движения: путь, перемещение. Скорость. Равномерное движение. Графическое представление равномерного движения. Относительность движения. Сложение скоростей.

Механическим движением тела называется изменение его положения в пространстве относительно других тел с течением времени.

Механическое равномерное движение – это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Материальная точка – тело, размерами которого в данных условиях движения можно пренебречь.

Система отсчета – тело отсчета, система координат, часы.

Траектория – это линия, вдоль которой движется тело.

Путь – это длина участка траектории, пройденного точкой за данный промежуток времени. Обозначается буквой s , измеряется в метрах (м).

Перемещение – вектор, соединяющий его начальное положение с его конечным положением за данный промежуток времени. Обозначается – $\Delta\vec{r}$, измеряется в метрах (м).

Скорость равномерного прямолинейного движения – векторная физическая величина, модуль которой численно равен модулю перемещения тела за единицу времени: $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ или в проекциях $v_x = \frac{\Delta r_x}{\Delta t}$. Обозначается – \vec{v} , измеряется в метрах в секунду (м/с).

Для перевода км/ч в м/с и наоборот:

$$A \frac{\text{км}}{\text{ч}} = A \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{A \text{ м}}{3,6 \text{ с}}; \quad A \frac{\text{м}}{\text{с}} = A \frac{1 \text{ км}}{1000} \cdot \frac{3600}{1 \text{ ч}} = A \cdot 3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

При равномерном движении: перемещение $\Delta\vec{r} = \vec{v} \cdot \Delta t$; путь $s = v \cdot \Delta t$; координата: $x = x_0 + v_x \cdot \Delta t$

График скорости (проекция скорости):

$$v_x = \text{const.}$$

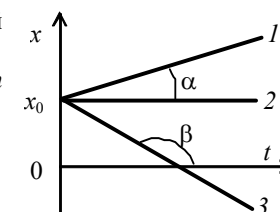
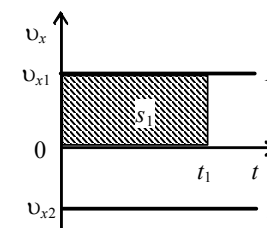
- 1) тело движется в положительном направлении оси Ox и проходит путь s_1 ($v_x > 0$);
- 2) тело движется против положительного направления оси Ox ($v_x < 0$).

• Площадь заштрихованной фигуры численно равна пути, который проходит тело l за данный промежуток времени t_1 .

График зависимости координаты тела от времени: $x = x_0 + v_x \cdot \Delta t$.

$$v_{1x} = \text{tg } \alpha = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0}; \quad v_{3x} = \text{tg } \beta = \frac{x_2 - x_0}{t_2 - t_0}.$$

- 1) равномерное движение в положительном на-



правлении оси OX ($v_x > 0$; $x_0 > 0$);

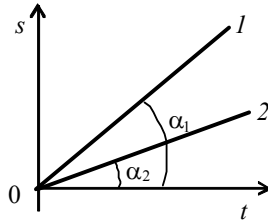
2) тело неподвижно ($v_x = 0$; $x_0 > 0$);

3) равномерное движение в направлении, противоположном оси OX ($v_x < 0$; $x_0 > 0$).

График пути: $s = v \cdot \Delta t$.

$v_1 > v_2$, т.к. $\operatorname{tg} \alpha_1 > \operatorname{tg} \alpha_2$.

Относительность движения – зависимость характеристик механического движения от выбора системы отсчета.



Закон сложения скоростей

скорость тела относительно неподвижной системы отсчета \vec{v} равна сумме его скорости относительно подвижной системы отсчета \vec{v}' и скорости подвижной системы отсчета относительно неподвижной \vec{v}_0 : $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0$.

• Закон сложения скоростей в таком виде справедлив только для движений со скоростью, много меньше скорости света.

2. Неравномерное движение. Средняя и мгновенная скорости. Ускорение.

Прямолинейное движение с постоянным ускорением. Графическое представление равноускоренного движения.

Неравномерное движение – это движение с изменяющейся скоростью. Неравномерное движение характеризуется средней скоростью и мгновенной скоростью.

Средней скоростью пути $\langle v \rangle$ называется отношение пройденного пути s к тому промежутку времени Δt , за который этот путь проделан: $\langle v \rangle = \frac{s}{\Delta t}$.

Средней скоростью перемещения $\langle \vec{v} \rangle$ называется вектор, равный отношению вектора перемещения $\Delta \vec{r}$ к тому промежутку времени Δt , за который это перемещение произошло: $\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$.

Мгновенной скоростью называется вектор, определяющий направление и модуль скорости в данный момент времени. Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории движения.

Движение тела равноускоренное, если с течением времени ни модуль, ни направление вектора ускорения не изменяются.

Ускорение – физическая векторная величина, модуль которой численно равен модулю изменения скорости тела за единицу времени: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$. Обозначается – \vec{a} , измеряется в м/с^2 .

При прямолинейном движении ускорение направлено:

- в сторону движения (скорости), если скорость тела увеличивается;
- в противоположную сторону движения (скорости), если скорость тела уменьшается.

Для равноускоренного движения $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$ или $v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$;

Классификация элементарных частиц основана на их взаимодействиях. Различают четыре типа фундаментальных взаимодействий: *гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое.*

$$\Delta r_x = v_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}; \Delta r_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2 \cdot a_x}; \Delta r_x = v_x \cdot t - \frac{a_x \cdot t^2}{2}; \Delta r_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t,$$

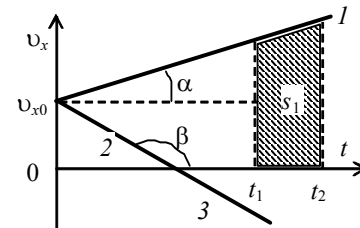
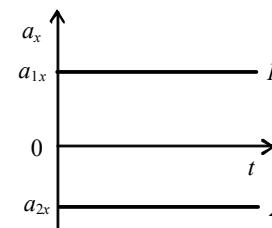
где a_x – проекция ускорения на ось OX (м/с^2); v_x – проекция конечной скорости на ось OX (м/с); v_{0x} – проекция начальной скорости на ось OX (м/с); t – время, в течении которого изменяется скорость (с); Δr_x – проекция перемещения на ось OX (м).

График проекции ускорения: $a_x = \text{const}$.

- 1) Ускорение тела направлено вдоль положительного направления оси OX ($a_{1x} > 0$);
- 2) ускорение тела направлено против положительного направления оси OX ($a_{2x} < 0$).

График проекции скорости: $v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$.

- 1) равноускоренное движение вдоль положительного направления оси OX ($v_{0x} > 0$; $a_x > 0$);
- 2) равнозамедленное движение вдоль положительного направления оси OX ($v_{0x} > 0$; $a_x < 0$);
- 3) равноускоренное движение в направлении, противоположном оси OX ($v_x < 0$; $a_x < 0$).



$$a_{1x} = \text{tg } \alpha = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0}; a_{2x} = \text{tg } \beta = \frac{v_2 - v_0}{t_2 - t_0}.$$

- Площадь заштрихованной трапеции численно равна пути, пройденному телом I за время $t_2 - t_1$.

График зависимости координаты тела от

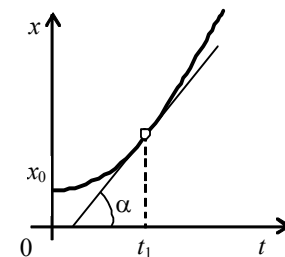
времени: $x = x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}$.

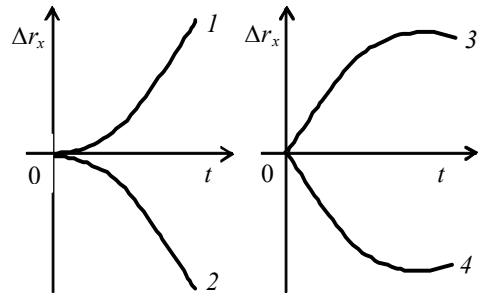
Скорость тела в момент времени t_1 численно равна тангенсу угла наклона касательной к оси времени, т.е. $v_x(t_1) = \text{tg } \alpha$.

График проекции перемещения:

$$\Delta r_x = v_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}.$$

- 1) равноускоренное движение вдоль положительного направления оси OX ($v_{0x} > 0$; $a_x > 0$);
- 2) равноускоренное движение в направлении, противоположном оси OX ($v_{0x} < 0$; $a_x < 0$);
- 3) равнозамедленное движение вдоль положительного направления оси OX ($v_{0x} > 0$; $a_x < 0$);
- 4) равнозамедленное движение в направлении, противоположном оси OX ($v_{0x} < 0$; $a_x > 0$).





3. Движение материальной точки по окружности с постоянной по модулю линейной скоростью. Угловая скорость. Период и частота равномерного вращения. Центробежное ускорение.

Период вращения – время, за которое тело совершает один полный оборот, т.е. проходит путь $2\pi \cdot R$. Обозначается буквой T , измеряется в секундах (с).

Частота – величина численно равная числу оборотов, совершенных телом за 1 с. Обозначается буквой ν , измеряется в герцах ($1\text{Гц} = 1\text{с}^{-1}$).

$$T = \frac{t}{N}; \nu = \frac{N}{t}; T = \frac{1}{\nu}; \nu = \frac{1}{T}, \text{ где } t - \text{ время (с); } N - \text{ число оборотов.}$$

Угловая скорость – физическая величина, модуль которой численно равен углу поворота радиус-вектора за единицу времени. Обозначается буквой ω , измеряется в рад/с.

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot N; s = \Delta\varphi \cdot R; \omega = \frac{\Delta\varphi}{t}, \text{ где } \Delta\varphi - \text{ угол поворота радиус-вектора}$$

(рад); N – число оборотов; s – пройденный путь (м); R – радиус вращения (м); ω – угловая скорость (рад/с).

$$v = \frac{2\pi \cdot R}{T}; v = 2\pi \cdot R \cdot \nu; \omega = \frac{2\pi}{T}; \omega = 2\pi \cdot \nu; v = \omega \cdot R, \text{ где } v - \text{ линейная скорость (м/с); } R - \text{ радиус окружности (м).}$$

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}, a_{\text{ц}} = \omega^2 \cdot R, \text{ где } a_{\text{ц}} - \text{ центростремительное ускорение (м/с}^2\text{).}$$

При движении по окружности линейная скорость в любой точке направлена по касательной к траектории (перпендикулярно радиусу) (рис. 1), а центростремительное ускорение – к центру окружности (по радиусу) (рис. 2).

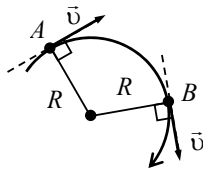


Рис. 1.

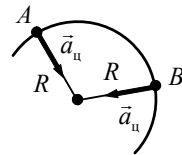


Рис. 2.

ядро, a и b – бомбардирующая и испускаемая частицы. Пример: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{p}$.

В ядерных реакциях выполняются законы сохранения:

- электрического заряда – сумма зарядов частиц и ядер (их порядковые номера) до и после реакции должны равняться друг другу;
- массового числа – сумма массовых чисел частиц и ядер до и после реакции должны равняться друг другу;
- закон сохранения энергии.

Энергетический выход ядерной реакции:

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = (m_A + m_a - m_B - m_b) \cdot c^2$, где Δm – разность масс частиц до и после реакций. Если $\Delta E > 0$, то реакция идёт с выделением тепла. Если $\Delta E < 0$, то реакция идёт с поглощением тепла.

2. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада.

Радиоактивность – явление самопроизвольного превращения ядер неустойчивых изотопов одного химического элемента в ядра изотопов других химических элементов с испусканием α -, β -частиц и γ -квантов.

α -излучение – это поток ядер атомов гелия (${}^4_2\text{He}$), β -излучение – это поток электронов (${}^0_{-1}e$), γ -излучение – это фотоны очень большой энергии.

Правила смещения при радиоактивном распаде: ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$ при α -распаде; ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}e$ при β -распаде.

Период полураспада $T_{1/2}$ – промежуток времени, за который распадается ровно половина первоначального количества радиоактивных ядер, табличная величина.

Закон радиоактивного распада: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$, где N – число не распавшихся радиоактивных атомов через время t ; N_0 – число радиоактивных атомов в начальный момент времени; t – время, в течение которого распадаются атомы; $T_{1/2}$ – период полураспада.

Ядерная реакция деления тяжёлого ядра, возбуждённого при захвате нейтрона, заключается в разделе исходного ядра на две приблизительно равные части, называемые продуктами деления. В результате таких реакций выделяется огромное количество энергии. Управляемая цепная реакция деления тяжёлых ядер под действием нейтронов происходит в ядерном реакторе. Пример: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{145}_{56}\text{Ba} + {}^{88}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n} + 200\text{ МэВ}$.

Термоядерные реакции – реакции синтеза лёгких ядер при сверхвысоких температурах и самоподдерживающиеся за счёт значительного выделения в них энергии. Пример: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 17,6\text{ МэВ}$. Природная термоядерная реакция идёт на Солнце.

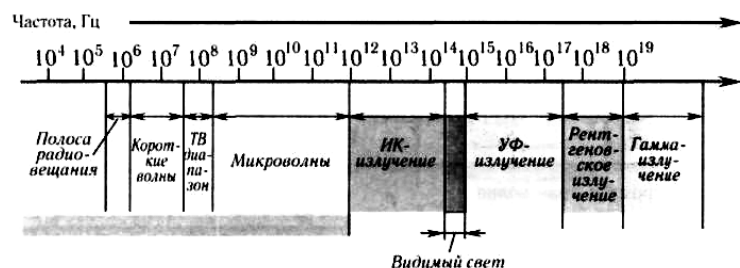
Элементарные частицы – первичные бесструктурные частицы, из которых состоит вся материя. Важнейшее свойство всех элементарных частиц – способность испускаться и поглощаться (рождаться и уничтожаться) при взаимодействии с другими частицами.

линейчатые (имеют все вещества в газообразном атомарном состоянии);
полосатые (имеют газы, состоящие из слабо связанных друг с другом молекул);

сплошные (имеют нагретые тела, находящиеся в твёрдом и жидком состояниях, а также газы при высоком давлении и плазма).

Спектры, полученные после прохождения белого света через вещество, атомы и молекулы которого находятся в невозбуждённом состоянии, называются *спектрами поглощения*.

Спектр электромагнитного излучения удобно изображать в виде шкалы электромагнитных волн.



Атомное ядро и элементарные частицы

1. Протонно-нейтронная модель строения ядра атома. Энергия связи атомного ядра. Ядерные реакции. Деление тяжелых ядер. Термоядерные реакции. Элементарные частицы.

Протонно-нейтронная модель строения ядра: ядро состоит из частиц двух типов – протонов и нейтронов (общее название *нуклоны*).

Нейтральный атом и его ядро обозначаются одним и тем же символом ${}^A_Z X$, где X – обозначение элемента, Z – атомный номер, число протонов в ядре (порядковый номер элемента в периодической таблице Д.И. Менделеева), A – массовое число, общее число нуклонов (округленное до целого числа масса атома, выраженное в а.е.м.). Число нейтронов в ядре $N = A - Z$.

• Химический элемент определяется числом протонов или порядковым номером в таблице Д.И. Менделеева.

Дефект масс ядра: $\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{ядра}}$, где m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_{\text{ядра}}$ – масса ядра (кг или а.е.м.).

• $m_{\text{ядра}} = m_{\text{атома}} - N \cdot m_e$, m_e – масса электрона.

• $1 \text{ а.е.м.} \approx 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Энергия связи атомных ядер – энергия, необходимая для расщепления ядра на отдельные нуклоны (Дж или эВ): $E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2$.

• $1 \text{ эВ} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Ядерные реакции – процессы изменения атомных ядер, вызванные их взаимодействием с элементарными частицами или друг с другом. Символически ядерная реакция имеет вид: $A + a \rightarrow B + b$, где A и B – исходное и конечное

4. Свободное падение тел. Ускорение свободно падающего тела. Движение тела, брошенного горизонтально.

Свободным падением называется движение тела только под действием силы тяжести с любой начальной скоростью. Под действием силы тяжести все тела движутся с одним и тем же ускорением a , равным ускорению свободного падения g , которое направлено к центру Земли (вниз).

Движение тела по вертикали

• Уравнение проекции скорости на ось OY $v_y = v_{0y} + g_y \cdot t$; уравнение движения вдоль оси OY $y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{g_y \cdot t^2}{2}$.

• *Время подъема* тела до максимальной высоты $t_{\text{под}}$ равно времени падения с этой высоты в исходную точку $t_{\text{пад}}$, а общее время полета $t = 2t_{\text{под}}$, где

$t_{\text{под}} = \frac{v_{0y}}{g}$ – время подъема тела; $t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$ – время падения тела с высоты h_0

из состояния покоя.

• Максимальная высота подъема тела, брошенного вертикально вверх с нулевой высоты $h_{\text{max}} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$.

Движение тела, брошенного горизонтально

Движение тела, брошенного горизонтально, можно разложить на два движения:

1) *равномерное движение по горизонтали* со скоростью v_{0x} , и тогда для описания движения вдоль оси Ox применяются формулы равномерного движения:

• уравнение проекции скорости $v_x = v_{0x} = v_0$; уравнение движения $x = x_0 + v_{0x} \cdot t$;

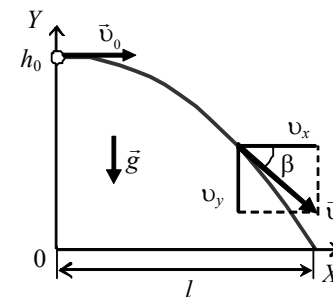
2) *равноускоренное движение по вертикали* с ускорением g и начальной скоростью $v_{0y} = 0$. Для описания движения вдоль оси OY применяются формулы равноускоренного движения по вертикали:

• уравнение проекции скорости $v_y = g_y \cdot t$; уравнение движения $y = y_0 + \frac{g_y \cdot t^2}{2} = y_0 + \frac{v_y^2}{2g_y}$.

• Дальность полета определяется по формуле: $l = v_0 \cdot t_{\text{пад}} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$.

• Скорость тела в любой момент времени t будет равна: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$; где $v_x = v_0$; $v_y = g_y \cdot t$.

• Угол между вектором скорости и осью Ox :



$$\operatorname{tg} \beta = \frac{v_y}{v_x}; \quad \sin \beta = \frac{v_y}{v}; \quad \cos \beta = \frac{v_x}{v}.$$

Динамика

1. *Взаимодействие тел. Первый закон Ньютона. Сила. Сложение сил. Инертность тел. Масса. Плотность. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона.*

Первый закон Ньютона. Существуют такие системы отсчета (называемые инерциальными), относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной (или покоится), если на него не действуют другие тела (или действие других тел скомпенсировано).

Сила – физическая векторная величина, являющаяся количественной мерой действия одного тела на другое, в результате которого изменяется скорость тела и происходит его деформация. Обозначается буквой \vec{F} , измеряется в Ньютонах (Н).

Заменить действие нескольких сил можно *резльтирующей силой*, которая определяется как векторная сумма этих сил: $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$.

Масса – это количественная мера *инертности тела*, т.к. при фиксированной величине силы, действующей на тело, его ускорение тем меньше, чем больше масса. Обозначается буквой m , измеряется в кг.

Плотность – это физическая величина, численно равная отношению массы тела к его объему: $\rho = \frac{m}{V}$. Обозначается буквой ρ , измеряется в кг/м³.

Второй закон Ньютона. Ускорение, приобретаемое телом, прямо пропорционально равнодействующей всех сил, действующих на тело, и обратно

$$\text{пропорционально его массе: } \vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}.$$

Третий закон Ньютона. Силы, с которыми два тела действуют друг на друга, одной природы, равны по модулю, противоположны по направлению и направлены вдоль одной прямой: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Законы Ньютона выполняются в инерциальных системах отсчёта.

2. *Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Сила тяжести. Зависимость силы тяжести от высоты.*

Гравитационное поле – это поле, которое создает вокруг себя тело, обладающее массой.

Закон всемирного тяготения. Две материальные точки притягиваются друг к другу с силами, модули которых прямо пропорциональны произведению масс этих точек и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad \text{где } G \text{ – гравитационная постоянная, равная } 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

Ядерная модель атома

1. *Ядерная (планетарная) модель атома. Квантовые постулаты Бора. Испускание и поглощение света атомами. Спектры испускания и поглощения. Шкала электромагнитных излучений.*

Ядерная (планетарная) модель атома:

- в центре атома расположено ядро размером $d \leq 10^{-14}$ м;
- почти вся масса сосредоточена в положительно заряженном ядре: $q_{\text{ядра}} = Z \cdot e$, где Z – порядковый номер химического элемента в таблице Д.И. Менделеева; e – элементарный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
- электроны под действием кулоновских сил движутся по замкнутым орбитам вокруг ядра. Число электронов равно Z . Суммарный заряд электронов $q = -Z \cdot e$, поэтому атом в целом электрически нейтрален.

Квантовые постулаты Бора

- *I постулат Бора (постулат стационарных состояний):* электрон в атоме может находиться только в особых стационарных (квантовых) состояниях, каждому из которых соответствует определённая энергия. Когда электрон находится в стационарном состоянии, атом не излучает.

- *II постулат Бора (правило частот):* электрон в атоме может «скачком» переходить из одного стационарного состояния (k -го) в другое (n -е). При этом переходе испускается или поглощается квант электромагнитного поля с частотой ν_{kn} , определяемой разностью энергий электрона в атоме в данных состояниях: $E_{kn} = h \cdot \nu_{kn} = E_k - E_n$,

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}.$$

Если

$E_k > E_n$, то атом излучает энергию, если $E_k < E_n$, то атом поглощает энергию.

- *III постулат Бора (правило квантования орбит):* стационарные (разрешённые) электронные орбиты в атоме находятся из условия $m \cdot v \cdot r_n = n \cdot \hbar$, где m – масса электрона, v – линейная скорость его движения, r_n – радиус n -й орбиты, $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, число $n = 1, 2, 3, \dots$ – номер орбиты.

Энергия электрона в атоме строго квантована: $E_n = \frac{E_1}{n^2}$; каждому стационарному состоянию соответствует орбита электрона радиуса $r_n = n^2 \cdot r_1$, где E_n – энергия электрона на n -й орбите атома водорода; r_n – радиус n -й орбиты атома водорода; E_1 – энергия электрона на первой орбите; r_1 – радиус первой орбиты; n – номер орбиты.

Свободный атом поглощает и излучает энергию только целыми квантами. При переходе в возбуждённое состояние атом поглощает только такие кванты, которые может сам испускать.

Свободный атом поглощает и излучает энергию только целыми квантами. При переходе в возбуждённое состояние атом поглощает только такие кванты, которые может сам испускать.

Спектр – распределение энергий, излучаемой или поглощаемой веществе, по частотам или длинам волн. Спектры, полученные от самосветящихся тел, называются *спектрами испускания*. Они бывают:

Краткий справочник по теме «Квантовая физика»

Основы квантовой физики

1. *Фотоэлектрический эффект. Экспериментальные законы внешнего фотоэффекта. Фотон. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.*

Свет излучается и поглощается квантами, получившими название *фотонов*. Это электрически нейтральная элементарная частица, которая не имеет состояния покоя. Во всех ИСО движется со скоростью света.

Энергия фотона: $E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$, модуль импульса фотона: $p = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

, где h – постоянная Планка, равная $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с $\approx 4,14 \cdot 10^{-15}$ эВ·с; ν – частота фотона (Гц); c – скорость фотона в вакууме, постоянная величина, равная $3,0 \cdot 10^8$ м/с; λ – длина волны фотона (м).

Фотоэлектрический эффект – явление взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, в результате которого энергия излучения передается электронам вещества. Если фотоэффект сопровождается вылетом электронов с поверхности вещества, то его называют внешним фотоэффектом, если не сопровождается – внутренним.

Экспериментальные законы внешнего фотоэффекта:

1. Фототок насыщения – максимальное число фотоэлектронов, вырываемых из катода за единицу времени, – прямо пропорционален интенсивности падающего излучения.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего излучения и линейно возрастает с увеличением частоты падающего излучения.
3. Для каждого вещества существует граничная частота ν_{\min} такая, что излучение меньшей частоты не вызывает фотоэффекта, какой бы ни была интенсивность падающего излучения.

Красная граница фотоэффекта (наименьшая частота света, при которой начинается фотоэффект) $\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$, где $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона для данного вещества (табличная величина); h – постоянная Планка.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h \cdot \nu = A_{\text{вых}} + \frac{m \cdot v^2}{2}$, где $h \cdot \nu$ – энергия фотона (порция энергии света); ν – частота падающего излучения;

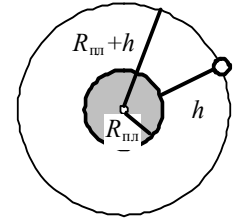
$\frac{m_e \cdot v_{\max}^2}{2} = E_k^{\max}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона; m_e – масса фотоэлектрона, равная $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; v_{\max} – максимальная скорость фотоэлектрона; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона для данного вещества (табличная величина).

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона $E_k^{\max} = e \cdot U_s$, где e – модуль заряда фотоэлектрона, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; U_s – задерживающее (запирающее) напряжение (напряжение, при котором фотоэффект прекращается).

Сила тяжести – это сила, с которой Земля притягивает тело: $F_{\text{тяж}} = m \cdot g$, где g – ускорение свободного падения у поверхности Земли равна $9,81$ м/с²; m – масса тела (кг).

Для расчета силы тяжести тела и ускорения свободного падения на некоторой высоте h или на других планетах применяют следующие формулы:

$F_{\text{тяж}} = G \cdot \frac{M_{\text{пл}} \cdot m}{r^2}$; $g_{\text{пл}} = G \cdot \frac{M_{\text{пл}}}{r^2}$, где $M_{\text{пл}}$ – масса планеты, табличная величина (кг); $r = R_{\text{пл}} + h$ – расстояние от центра планеты до тела (м); $R_{\text{пл}}$ – радиус планеты (м); h – высота тела над поверхностью планеты (м).



– высота тела над поверхностью планеты (м).

3. Понятие о деформациях. Силы упругости. Закон Гука.

Деформация – изменение формы и размеров, происходящее из-за неодинакового смещения различных частей одного тела в результате воздействия другого тела.

Абсолютное удлинение тела $\Delta L = |L - L_0|$, где L и L_0 – конечная и начальная длина тела (м).

- Если тело *растягивают*, то $L > L_0$ и $\Delta L = L - L_0$;
- если тело *сжимают*, то $L < L_0$ и $\Delta L = -(L - L_0) = L_0 - L$.

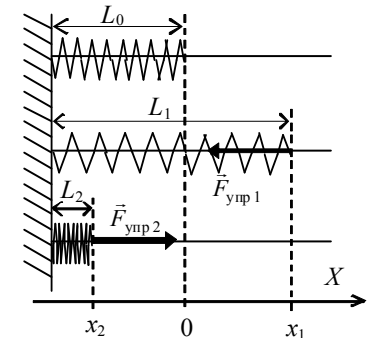
Силой упругости называется сила, возникающая при деформации любых твердых тел, а также при сжатии жидкостей и газов. Обозначается $\vec{F}_{\text{упр}}$.

- В случае одностороннего растяжения или сжатия сила упругости направлена вдоль прямой, по которой действует внешняя сила, вызывающая деформацию тела, противоположно направлению этой силы и перпендикулярно поверхности тела.
- Силу упругости, действующую на тело со стороны опоры или подвеса, называют *силой реакции опоры* \vec{N} или *силой натяжения подвеса* \vec{T} .

Закон Гука. Модуль силы упругости, возникающая при малых деформациях сжатия или растяжения тела, прямо пропорционален величине абсолютного удлинения: $F_{\text{упр}} = k \Delta L$, где k – коэффициент жесткости (жесткость) тела (Н/м).

- Если ось Ox направить вдоль тела в сторону его растяжения, начало отсчета выбрать в точке, совпадающей с концом недеформированного тела, то закон Гука можно записать так: $(F_{\text{упр}})_x = -k \cdot x$, где $(F_{\text{упр}})_x$ – проекция силы упругости на ось Ox (Н); x – координата конца тела.

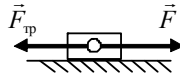
- Знак « \leftarrow » указывает, что сила упругости всегда противоположна по направлению смещению частей тела.



4. Силы трения. Сухое трение. Коэффициент трения.

Силы трения – силы, возникающие в месте соприкосновения тел, препятствующие их относительному перемещению.

Силы сухого трения – это силы трения, которые возникают при взаимодействии соприкасающихся твердых тел друг с другом.



$F_{тр} = F_{тр\text{ пок}} = F$, если $F \leq F_{тр\text{ ск}}$;	$F_{тр} = F_{тр\text{ ск}}$, если $F > F_{тр\text{ ск}}$;	$F_{тр\text{ ск}} = \mu \cdot N$,
---	---	------------------------------------

где $F_{тр}$ – сила трения; F – сила, действующая на тело;
 $F_{тр\text{ пок}}$ – сила трения покоя; $N = F_{\text{давл}}$ – сила реакции опоры;
 $F_{тр\text{ ск}}$ – сила трения скольжения; $F_{\text{давл}}$ – сила нормального давления;
 μ – коэффициент трения скольжения, табличная величина, зависящая от веществ, из которых изготовлены соприкасающиеся тела, и степень обработки их поверхностей.

5. Давление. Закон Паскаля. Сообщающиеся сосуды. Давление жидкости на дно и стенки сосуда. Атмосферное давление. Опыт Торричелли. Закон Архимеда. Плавание тел.

Давление – это физическая величина численно равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности тела, к площади его поверхности:

$$p = \frac{F}{S}. \text{ Давление обозначается буквой } p, \text{ измеряется в паскалях (Па).}$$

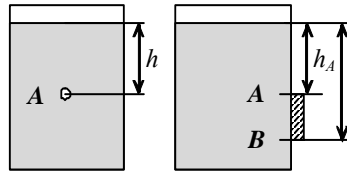
Закон Паскаля. Давление, создаваемое внешними силами, передается без изменения в каждую точку жидкости.

Сообщающиеся сосуды – это соединенные между собой сосуды.

Гидростатическое давление в точке A : $p_{\text{гидр}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h + p_0$, где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (кг/м^3); h – высота столбца жидкости (глубина) (м); p_0 – атмосферное (или внешнее) давление.

Средняя сила давления на боковую площадку AB площадью S равна

$$F_{\text{ср}} = \frac{p_A + p_B}{2} \cdot S = \frac{\rho \cdot g \cdot h_1 + \rho \cdot g \cdot h_2}{2} \cdot S.$$



Атмосферное давление – давление атмосферного воздуха на находящиеся в нем предметы и на земную поверхность. Измеряется атмосферное давление в паскалях (Па), а так же широко используется внесистемная единица 1 мм рт. ст. Это давление, которое оказывает столбик ртути высотой 1 мм.

$$1 \text{ мм рт. ст.} \approx 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 133 \text{ Па.}$$

Закон Архимеда. На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная по модулю весу жидкости в объеме, занимаемом телом (вытесненный объем), и приложенная в центре масс этого объема (центре давления).

Архимедова (выталкивающая) сила равна: $F_A = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{погр}}$, где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (кг/м^3); $V_{\text{погр}}$ – объем погруженной части тела (м^3).

плавления, равная количеству теплоты, необходимому для плавления единицы массы этого вещества при температуре плавления (Дж/кг).

- Если температура тела не равна температуре плавления тела, то для того, чтобы тело расплавить (кристаллизовать), его вначале необходимо нагреть (охладить) до температуры плавления.

Парообразование может идти в виде испарения (парообразование, происходящее со свободной поверхности жидкости при любой температуре) и при кипении (превращение жидкости в пар по всему объему жидкости при постоянной температуре). Скорость испарения зависит от площади свободной поверхности, температуры жидкости, внешнего давления, рода жидкости, плотности паров над свободной поверхностью. При испарении температура жидкости уменьшается.

Состояние при котором число молекул, покинувших жидкость, примерно равно числу молекул возвратившихся обратно называется динамическим равновесием между жидкостью и паром.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называют насыщенным.

Жидкость кипит тогда, когда давление ее насыщенного пара равно внешнему давлению. Температура жидкости, при которой давление ее насыщенного пара равно или превышает внешнее давление, называется температурой кипения. Давление жидкости в открытом сосуде определяется внешним (атмосферным) давлением и гидростатическим.

Количество теплоты, которое необходимо сообщить телу, чтобы превратить его в пар, или которое выделится при конденсации пара, если тело взято при температуре кипения равно $Q = m \cdot L$, где m – масса тела; L – удельная теплота парообразования, равная количеству теплоты, необходимому для превращения в пар единицы массы жидкости, находящейся при температуре кипения (Дж/кг).

- Если температура жидкости не равна температуре кипения, то для того, чтобы жидкость превратить в пар (сконденсировать), его вначале необходимо нагреть (охладить) до температуры кипения.

Для количественной характеристики содержания водяного пара в воздухе используют абсолютную и относительную влажность.

Абсолютная влажность воздуха – масса водяного пара, содержащегося в $V = 1 \text{ м}^3$ влажного воздуха (плотность водяных паров).

Относительная влажность воздуха (φ) – физическая величина, численно равная отношению абсолютной влажности ρ к той плотности насыщенного водяного пара ρ_0 при данной температуре: $\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$.

Относительную влажность также можно определить как отношение давления водяного пара к давлению насыщенного пара p к давлению насыщенного пара p_0 при данной температуре: $\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%$.

При *изобарном* процессе ($p = \text{const}$) $Q = \Delta U + A$.

При *изохорном* процессе ($V = \text{const}$) $A = 0$, поэтому $Q = \Delta U$.

При *изотермическом* процессе ($T = \text{const}$) $\Delta U = 0$, поэтому $Q = A$.

3. *Циклические процессы. Физические основы работы тепловых двигателей. Коэффициент полезного действия теплового двигателя и его максимальное значение.*

Тепловой двигатель — устройство, которое превращает внутреннюю энергию топлива в механическую работу.

Физический принцип работы тепловых двигателей

T_1 — температура нагревателя;

T_2 — температура холодильника;

Q_1 — количество теплоты, переданное от нагревателя за цикл;

Q_2 — количество теплоты, переданное за цикл холодильнику (окружающей среде);

$A = Q_1 - Q_2$ — полезная работа, совершаемая рабочим телом при расширении.

КПД двигателя $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$. КПД

может измеряться и в процентах, тогда расчетная формула будет иметь вид

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%, \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%.$$

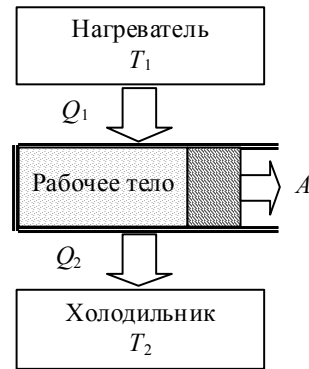
Максимальный КПД теплового двигателя, работающего по циклу Карно можно рассчитать по формуле: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, где T_1 — температура нагревателя;

T_2 — температура холодильника. КПД может измеряться и в процентах, тогда расчетная формула будет иметь вид $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$.

4. *Кристаллическое состояние вещества. Плавление. Удельная теплота плавления. Испарение жидкости. Насыщенный пар. Влажность. Относительная влажность. Кипение жидкости. Удельная теплота парообразования.*

Твердые тела, обладающие пространственной периодически повторяющейся структурой называются *кристаллами*. Среди кристаллических тел выделяют монокристаллы (тело, состоящее из одного кристалла) и поликристаллы (тело, состоящее из беспорядочно сросшихся между собой монокристаллов). Все кристаллические тела имеют определенную температуру плавления.

Количество теплоты, которое необходимо сообщить телу для его плавления или которое выделится при кристаллизации, если тело взято при *температуре плавления* равно $Q = m \cdot \lambda$, где m — масса тела; λ — удельная теплота



Условия плавания тел

Тело тонет	Тело плавает (находится в равновесии в любом месте внутри жидкости)	Тело всплывает	Тело плавает на поверхности (V_1 — объём погруженной части тела)
$F_A < m \cdot g$ $V \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g < V \cdot \rho_{\text{т}} \cdot g$ $\rho_{\text{ж}} < \rho_{\text{т}}$	$F_A = m \cdot g$ $\rho_{\text{ж}} = \rho_{\text{т}}$	$F_A > m \cdot g$ $\rho_{\text{ж}} > \rho_{\text{т}}$	$F'_A = m \cdot g$ $\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_1 = \rho_{\text{т}} \cdot g \cdot V$ $\rho_{\text{ж}} > \rho_{\text{т}}$

Грузоподъемность (подъемная сила) — это максимальный вес груза, который может выдержать тело.

Законы сохранения

1. *Импульс. Закон сохранения импульса. Реактивное движение.*

Импульс тела (количество движения) — физическая векторная величина, совпадающая по направлению со скоростью тела в данный момент времени и равная произведению массы тела на его скорость: $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$. Обозначается буквой \vec{p} , измеряется в кг·м/с.

Изменение импульса тела $\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0$, где \vec{p} и \vec{p}_0 — конечный и начальный импульсы тела (кг·м/с).

Изменение импульса тела в единицу времени равно векторной сумме всех действующих на тело сил: $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot t$, где $\vec{F} \cdot t$ — импульс силы (Н·с).

Изменение импульса тела в единицу времени равно векторной сумме всех сил, действующих на данное тело: $\frac{\Delta \vec{p}}{t} = \vec{F}$ или $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot t$.

• Импульс силы направлен в ту же сторону, что и изменение импульса тела, и наоборот.

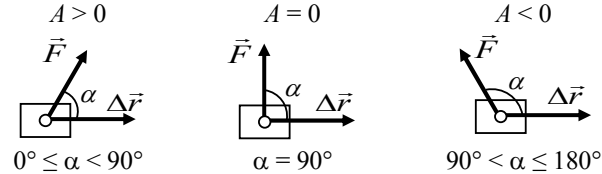
Закон сохранения импульса тела. Векторная сумма импульсов всех тел, входящих в замкнутую систему, остается неизменной при любых движениях и взаимодействиях тел системы: $\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} + \dots = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$, где \vec{p}_{01} , \vec{p}_{02} — начальные импульсы тел, входящих в замкнутую систему; \vec{p}_1 , \vec{p}_2 — конечные импульсы тел, входящих в замкнутую систему.

Реактивное движение — это движение, которое возникает, когда от системы отделяется и движется с некоторой скоростью относительно нее какая-то

ее часть.

2. Механическая работа. Мощность.

Механическая работа силы – это физическая скалярная величина, равная произведению модулей силы, перемещения и косинуса угла между направлениями силы и перемещения, если силы не изменяются в процессе движения: $A = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha$. Обозначается буквой A , измеряется в джоулях (Дж).



- Работа сил трения и сопротивления отрицательная, т.к. силы и относительное перемещение тела направлены в противоположные стороны.

Средняя мощность равна отношению работы ко времени совершения этой работы: $\langle P \rangle = \frac{A}{\Delta t}$. **Мощность силы (мгновенная мощность)** равна произведению силы на скорость тела и косинус угла между направлением силы и скорости в данный момент времени: $P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$. Мощность обозначается буквой P , измеряется в ваттах (Вт).

КПД (коэффициентом полезного действия) называется отношение полезной работы, совершенной машиной за некоторый промежуток времени, ко всей затраченной работе (подведенной энергии) за тот же промежуток времени: $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}}$ или $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\%$. Обозначается буквой η , измеряется в процентах.

тах.

- Затраченная работа в **тепловом двигателе** равна энергии, выделяемой при сгорании топлива ($A_{\text{затр}} = Q = q \cdot m$), в **электродвигателе** – работе электрического тока

$$\left(A_{\text{затр}} = U \cdot I \cdot \Delta t = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t = I^2 \cdot R \cdot \Delta t \right).$$

3. Кинетическая энергия. Теорема о кинетической энергии. Потенциальная энергия. Потенциальная энергия гравитационных и упругих взаимодействий. Закон сохранения механической энергии.

Кинетическая энергия – это энергия движения, равная половине произведения массы тела на квадрат его скорости: $K = E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$. Обозначается буквой K или E_k , измеряется в джоулях (Дж).

Теорема об изменении кинетической энергии. Изменение кинетической энергии равно работе всех сил, действующих на тело: $A = \Delta E_k$, где

щими телами.

Виды теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение.

- Если $\Delta U > 0$, то внутренняя энергия увеличивается; если $\Delta U < 0$, то внутренняя энергия уменьшается.

Количество энергии, полученной или потерянной телом при теплообмене называют **количеством теплоты**.

При **нагревании (охлаждении)** $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$, где Q – количество теплоты, необходимое для нагревания или охлаждения тел; c – удельная теплоемкость, табличная величина $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$; m – масса тела; $\Delta t = \Delta T = t_2 - t_1 = T_2 - T_1$

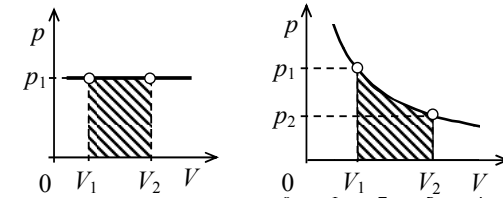
– на сколько тело нагрели или охладили ($^\circ\text{C}$); t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры ($^\circ\text{C}$); T_1 и T_2 – начальная и конечная абсолютные температуры (К).

Количество теплоты, выделяемое при полном сгорании топлива $Q = q \cdot m$, где m – масса топлива; q – удельная теплота сгорания топлива, показывает, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании единицы массы топлива (Дж/кг).

Работу при **изобарном процессе** ($p = \text{const}$) можно рассчитать по формуле: $A = p \cdot \Delta V$, где $A = -A'$ – работа газа (Дж); A' – работа над газом (Дж); p – давление газа (Па); $\Delta V = V_2 - V_1$ – изменение объема (м^3); V_2 и V_1 – конечный и начальный объемы газа соответственно (м^3).

- Если объем **увеличивается**, то $\Delta V > 0$ и $A > 0$, а $A' < 0$, если объем **уменьшается**, то $\Delta V < 0$ и $A < 0$, а $A' > 0$.

- Работа над газом численно равна площади фигуры в осях $p(V)$, ограниченной графиком, осями и перпендикулярами к крайним точкам графика.



2. Первый закон термодинамики. Применение первого закона термодинамики к изопроцессам в идеальном газе. Расчет работы газа с помощью pV-диаграмм.

Первый закон термодинамики: изменение внутренней энергии системы ΔU равно сумме сообщенного телу количества теплоты Q и работы A' , произведенной над системой внешними телами: $\Delta U = Q + A'$.

Первый закон термодинамики можно сформулировать в следующем виде: количество теплоты Q , сообщенное системе извне, расходуется на увеличение ее внутренней энергии ΔU и на работу A , совершаемую системой против внешних сил: $Q = \Delta U + A$.

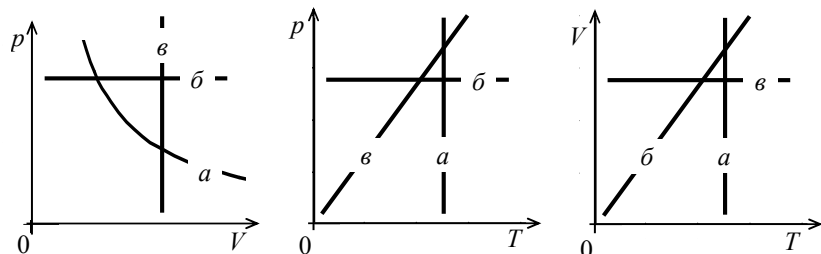
Закон Гей-Люссака (изохорный процесс) ($V = \text{const}$; $m = \text{const}$):

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ или } \frac{p}{T} = \text{const}, \text{ где } p_1 \text{ и } p_2 \text{ — давления газа в состоянии } 1 \text{ и } 2; T_1 \text{ и}$$

T_2 — температуры газа в состоянии 1 и 2.

• Процессы можно считать изохорными, если они проходят в *несжимаемом сосуде*.

Графики изопроцессов изображены на рисунке, где *a* — график изотермического процесса; *b* — график изобарного процесса; *в* — график изохорного процесса.



• Все графики изопроцессов — прямые линии, перпендикулярные осям или проходящие через начало координат. *Исключение* составляет график изотермы в осях $p(V)$.

Термодинамика

1. *Термодинамическая система. Внутренняя энергия системы. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа. Количество теплоты и работа как меры изменения внутренней энергии. Удельная теплоемкость.*

Совокупность тел любой физической природы и любого химического состава, характеризуемая некоторым числом макроскопических параметров, называется *термодинамической системой*. Для описания состояния термодинамической системы используют температуру T , объем V , давление p .

Внутренняя энергия — сумма кинетической энергии движения всех микрочастиц системы и потенциальной энергии их взаимодействия между собой.

Внутреннюю энергию и изменение внутренней энергии идеального газа можно рассчитать по формуле: $U = \frac{i}{2} \cdot \nu \cdot R \cdot T$, $\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \nu \cdot R \cdot \Delta T$ ($m = \text{const}$),

где U — внутренняя энергия идеального газа; ΔU — изменение внутренней энергии газа; i — целое число (для одноатомного газа $i = 3$, для двухатомного — 5); ν — количество вещества (моль); R — универсальная газовая постоянная, равная $8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$; T — абсолютная температура газа; $\Delta T = T_2 - T_1$ — изменение температуры газа; T_1 и T_2 — начальная и конечная абсолютные температуры.

Внутреннюю энергию системы можно изменить путем совершения над системой механической работы или путем теплообмена системы с окружаю-

$\Delta E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$ — изменение кинетической энергии тела; v и v_0 — конечная и начальная скорости тела (м/с).

Потенциальная энергия тела — это энергия взаимодействия тел.

Потенциальная энергия тела, поднятого на некоторую высоту, равна произведению массы тела на ускорение свободного падения и на высоту: $\Pi = E_p = m \cdot g \cdot h$, где g — ускорение свободного падения, у поверхности Земли равна $9,8 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2$. Эта энергия равна работе силы тяжести при падении тела с этой высоты:

• За *нулевую высоту* (уровень), по умолчанию, принято считать поверхность земли.

Потенциальная энергия упруго деформированного тела равна половине произведения жесткости тела на его удлинение: $\Pi = E_p = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$. Эта энергия равна работе сил упругости при переходе в недеформированное состояние.

Потенциальная энергия тела обозначается буквой Π или E_p , измеряется в джоулях (Дж).

Полная механическая энергия тела равна сумме кинетической и потенциальных энергий тела: $W = E = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h + \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$.

Работа непотенциальных сил, действующих на тело, равно изменению полной механической энергии тела: $A_{\text{вн}} = \Delta E = E - E_0$, где E и E_0 — полные механические энергии системы в конечном и начальном состояниях соответственно.

Закон сохранения механической энергии. Для тел, движущихся под действием сил тяжести и упругости в отсутствии сил сопротивления, полная механическая энергия сохраняется: $E = E_0$.

• При *абсолютно неупругом ударе* сохраняется только *импульс*, полная механическая энергия не сохраняется. Часть механической энергии при абсолютно неупругом ударе переходит во внутреннюю энергию, т.е. $E_0 - E = Q$.

• При *абсолютно упругом ударе* сохраняется и импульс и механическая энергия.

Краткий справочник по теме «Электродинамика»

Электростатика

1. *Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие точечных зарядов. Закон Кулона.*

Электрический заряд — скалярная физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия. Обозначается буквой q , измеряется в кулонах (Кл).

• Если тело имеет *избыточные* (лишние) электроны, то тело заряжено *отрицательно*, если у тела *недостаток* электронов, то тело заряжено *положительно*.

тельно. Величина заряда будет равна $q = N \cdot e$, где N — число избыточных или недостающих электронов; e — элементарный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Если заряд тела q распределить на несколько (N) одинаковых тел, то полученные заряды q_0 будут равны между собой, т.е. $q_0 = \frac{q}{N}$.

Точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Электризация — явление, сопровождающееся перераспределением зарядов на телах.

Закон сохранения электрического заряда. В любой замкнутой (электрически изолированной) системе сумма электрических зарядов остается постоянной при любых взаимодействиях внутри нее. Полный электрический заряд (q) системы равен алгебраической сумме ее положительных и отрицательных зарядов (q_1, q_2, \dots, q_N): $q = q_1 + q_2 + \dots + q_N$.

Взаимодействие заряженных частиц. Опыт показывает, что разноименные электрические заряды притягиваются друг к другу, а одноименные — отталкиваются.

Закон Кулона. Сила взаимодействия F двух точечных неподвижных электрических зарядов в вакууме прямо пропорциональна их величинам q_1 и q_2 , обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними r и направлена

вдоль прямой, соединяющей эти заряды: $F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$, где k — коэффициент пропорциональности, равный $\frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$; ϵ_0 — электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$.

- Силы электростатического взаимодействия направлены вдоль линии, соединяющей взаимодействующие точечные заряды, равны по величине, но противоположны по направлению.
- Закон Кулона применим не только к взаимодействию точечных зарядов, но и к равномерно заряженным телам сферической формы. В этом случае r — расстояние между центрами сферических поверхностей.

2. *Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля. Поле точечного заряда. Однородное электростатическое поле. Графическое изображение электростатических полей.*

Электрическим полем называют вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие электрических зарядов. *Электростатическое поле* — поле, созданное неподвижными электрическими зарядами.

Напряженностью электрического поля — силовая (векторная) характеристика поля, численно равная силе, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку пространства: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.

Обозначается

$T = (t + 273)$ К или $t = (T - 273)$ °С, где T — абсолютная термодинамическая температура (К); t — температура по шкале Цельсия (°С).

Температура — это величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул идеального газа, т.е.

$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} k \cdot T$, где $\langle E_k \rangle = \frac{m_0 \cdot \langle v^2 \rangle}{2}$ — средняя кинетическая энергия одной молекулы газа (Дж); m_0 — масса одной молекулы газа (кг); $\langle v^2 \rangle$ — среднее значение квадрата скорости молекул ($\text{м}^2/\text{с}^2$). k — постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T — температура газа (К).

Зависимость давления газа от концентрации его молекул n и температуры T выражается формулой: $p = n \cdot k \cdot T$, где $n = \frac{N}{V}$; N — число молекул газа, приходящихся на объем V .

3. *Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева). Изотермический, изобарный и изохорный процессы в идеальном газе.*

Уравнение Клапейрона. Для данной массы газа ($m = \text{const}$) при любом изменении состояния данного количества газа произведение давления на объем, деленное на абсолютную температуру, остается постоянным.

$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$ или $\frac{p \cdot V}{T} = \text{const}$, где p_1 и p_2 — давления газа в состояниях 1 и 2; V_1 и V_2 — объемы газа в состояниях 1 и 2; T_1 и T_2 — абсолютная температура газа в состояниях 1 и 2.

- Условия называются *нормальными*, если газ находится при температуре $t_{\text{нп}} = 0$ °С и давлении $p_{\text{нп}} = 101325$ Па $\approx 10^5$ Па.

Уравнение Клапейрона-Менделеева: $p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$, где p — давление газа; V — объем газа; ν — количество вещества (моль); R — универсальная газовая постоянная, равная $8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$; T — абсолютная температура газа (К).

Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс) ($T = \text{const}$, $m = \text{const}$):
 $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$ или $p \cdot V = \text{const}$, где p_1, p_2 — давления газа в состоянии 1, 2; V_1, V_2 — объемы газа в состоянии 1, 2.

Закон Шарля (изобарный процесс) ($p = \text{const}$; $m = \text{const}$):

$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ или $\frac{V}{T} = \text{const}$, где V_1 и V_2 — объемы газа в состоянии 1 и 2; T_1 и T_2 — температуры газа в состоянии 1 и 2.

- В уравнении задана абсолютная термодинамическая температура (по шкале Кельвина), причем $T = (t + 273)$ К.

Процессы можно считать *изобарными*, если они проходят:

- в *цилиндре с незакрепленным поршнем* (без учета трения);
- в *воздушных шариках* при небольших растяжениях или сжатиях.

чается буквой M , измеряется в кг/моль.

$M = M_r \cdot 10^{-3}$ кг/моль, где M_r — относительная атомная масса, табличная величина (см. таблицу Д.И. Менделеева).

$M = m_0 \cdot N_A$, где m_0 — масса одной молекулы (кг), N — число молекул в веществе.

• В таблице Д.И. Менделеева относительную атомную массу пишут под обозначением химического элемента.

2. *Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Средняя кинетическая энергия молекул и температура. Тепловое равновесие. Температура. Шкала температур Цельсия. Абсолютная шкала температур — шкала Кельвина.*

Физическая модель идеального газа:

1) размеры молекул малы по сравнению со средним расстоянием между ними; молекулы можно принимать за материальные точки;

2) силы притяжения между молекулами не учитываются, а силы отталкивания возникают только при соударениях;

3) молекулы сталкиваются друг с другом как абсолютно упругие шары, движение которых описывается законами механики.

Основное уравнение МКТ (уравнение Клаузиуса): $p = \frac{1}{3} n \cdot m_0 \cdot \langle v^2 \rangle$, где p — давление газа (Па); n — концентрация молекул (м^{-3}); m_0 — масса одной молекулы газа (кг); $\langle v^2 \rangle$ — среднее значение квадрата скорости молекул ($\text{м}^2/\text{с}^2$).

• В задаче может быть задано среднее значение квадрата скорости молекул ($\langle v^2 \rangle$), а может и средняя квадратичная скорость молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$. Внимательно читайте условие и обращайтесь внимание на единицы измерения: $[\langle v^2 \rangle] = \text{м}^2/\text{с}^2$; $[\langle v_{\text{кв}} \rangle] = \text{м}/\text{с}$.

Термодинамическое равновесие — это такое состояние системы, в котором каждый ее параметр имеет одинаковое значение во всех точках системы и остается неизменным с течением времени.

Температура — скалярная физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы. Она определяет не только степень нагретости, но и способность системы находиться в термодинамическом равновесии с другими системами.

По шкале Цельсия температура обозначается буквой t , измеряется в градусах Цельсия ($^\circ\text{C}$). За 1°C принята одна сотая промежуток от температуры плавления льда (0°C) до температуры кипения воды (100°C).

Абсолютная температурная шкала — шкала температур, в которой за начало отсчета принят абсолютный нуль. Температура здесь обозначается буквой T , измеряется в кельвинах (К). За единицу измерения в этой шкале принят один градус Цельсия, т.е. изменение на один кельвин (1 К) равно изменению на один градус Цельсия.

буквой \vec{E} , измеряется в Н/Кл или В/м.

• Направление вектора напряженности в данной точке пространства совпадает с направлением силы, с которой поле действует на *пробный* (положительный) заряд, помещенный в эту точку поля.

Значение *напряженности* электростатического поля, созданного

• *точечным зарядом*, в некоторой точке пространства прямо пропорционально величине этого заряда и обратно пропорционально квадрату расстояния от заряда до данной точки: $E = k \cdot \frac{|q|}{r^2}$;

• *заряженной сферой*, в некоторой точке пространства прямо пропорционально величине этого заряда и обратно пропорционально квадрату расстояния от центра сферы до данной точки, если расстояние не меньше радиуса сферы. Если расстояние меньше радиуса сферы, то напряженность равна нулю: $E = k \cdot \frac{|q|}{l^2}$, если $l \geq R$; $E = 0$, если $l < R$,

где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — коэффициент пропорциональности.

Принцип суперпозиции для напряженности электростатического поля. Напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов q_1, q_2, \dots, q_N в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_N$, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N$.

Графически электрическое поле представляют в виде силовых линий. *Силовая линия* — это направленная линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора напряженности в этой точке поля. Силовые линии изображают, учитывая следующие их свойства:

• начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных;

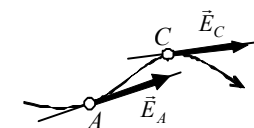
• перпендикулярны поверхности;

• не пересекаются и не имеют изломов;

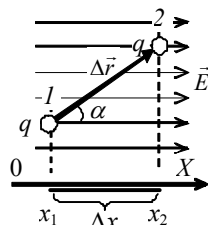
• там, где силовые *линии гуще*, напряженность *больше*, и наоборот.

Однородное поле — это поле, вектор напряженности которого в каждой точке пространства одинаков (по модулю и направлению). Графически однородное поле представляет собой набор параллельных равноотстоящих друг от друга силовых линий.

3. *Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал электростатического поля точечного заряда. Разность потенциалов. Напряжение. Связь между напряжением и напряженностью однородного электростатического поля. Принцип суперпозиции электростатических полей.*



Работа электростатического поля при перемещении заряда — физическая величина, численно равная произведению этого заряда q , на значение напряженности электрического поля E в данной точке поля и на проекцию перемещения заряда на ось, направленную вдоль силовой линии: $A = q \cdot E \cdot \Delta x$, где $\Delta x = x_2 - x_1$ или $\Delta x = \Delta r \cdot \cos \alpha$ — проекция перемещения заряда на ось, направленную вдоль силовой линии (м); x_2 и x_1 — координаты заряда в конечном и начальном положении соответственно (м); Δr — перемещение заряда (м); α — угол между направлением перемещения и силовой линией.



Потенциал электрического поля в данной точке — скалярная физическая величина, характеризующая потенциальную энергию W единичного заряда q в данной точке пространства: $\varphi = \frac{W_p}{q}$. Обозначается буквой φ , измеряется в вольтах (В).

Потенциал электростатического поля, созданного *точечным зарядом* q в точке, отстоящей на расстоянии r от заряда, равен $\varphi = \frac{k \cdot q}{r}$.

- Знак потенциала совпадает со знаком заряда.
- Потенциал точки, находящейся в бесконечности от заряда, создающего поле, равен нулю.

Потенциал электростатического поля, созданного *сферой радиуса* R и с зарядом q в точке, отстоящей на расстоянии l от центра сферы, равен $\varphi = \frac{k \cdot q}{l}$, если $l > R$; $\varphi = \frac{k \cdot q}{R}$, если $l \leq R$.

Принцип суперпозиции потенциалов. Потенциал поля нескольких точечных зарядов равен алгебраической сумме потенциалов отдельных зарядов: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_N$.

Разность потенциалов между двумя точками поля численно равна работе, которое совершается полем при перемещении единичного электрического заряда между этими точками: $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$. Обозначается $\varphi_1 - \varphi_2$, измеряется в вольтах (В).

Напряжение между двумя точками поля равно разности потенциалов между этими точками, если между ними не включен источник тока: $U = \varphi_1 - \varphi_2$. Обозначается буквой U , измеряется в вольтах (В).

Напряжения и проекция напряженности однородного электростатического поля связаны следующим соотношением: $E_x = \frac{U}{x_2 - x_1} = -\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{x_1 - x_2}$, E_x — проекция напряженности на ось Ox , направленную вдоль силовой линии; x_1 и

$1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж.

Краткий справочник по теме «Основы МКТ и термодинамики»

Основы МКТ

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Характер теплового движения частиц в газах, жидкостях и твердых телах.

Основные положения молекулярно-кинетической теории:

- 1) все вещества состоят из мельчайших частиц — молекул (простейшие молекулы состоят из одного атома);
- 2) молекулы находятся в непрерывном хаотическом тепловом движении;
- 3) между молекулами действуют силы, которые в зависимости от расстояния являются силами притяжения или отталкивания.

В твердых телах частицы удерживаются достаточно большими силами кулоновского притяжения в фиксированных положениях — положениях равновесия. При этом они совершают колебания относительно своих положений равновесия. Поэтому твердое тело имеет жесткую форму и неизменный объем.

В газах частицы находятся достаточно далеко друг от друга и движутся с большими скоростями. Силы взаимодействия между частицами очень малы, поэтому газ быстро заполняет любое доступное пространство. Давление в нем возникает за счет соударений его частиц со стенками контейнера.

Жидкости по своим свойствам занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. Расстояние между частицами меньше чем у газов. Частицы колеблются около своих положений равновесия, но частицы могут преодолевать силы притяжения и изменять свои положения. Жидкость имеет постоянный объем, обладает текучестью и может заполнять любую форму.

Физические величины, используемые в МКТ

За *атомную единицу массы* (1 а.е.м.) принимается $\frac{1}{12}$ массы атома углерода: 1 а.е.м. $\approx 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг).

Относительной атомной массой M_r вещества (*массовым числом*) называется безразмерное число, равное отношению массы атома m данного вещества к атомной единице массы.

Один моль — количество вещества, в котором содержится столько же молекул или атомов, сколько их содержится в 0,012 кг углерода.

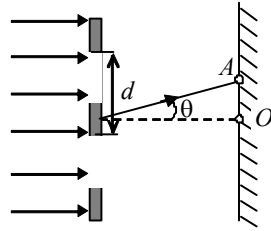
Постоянная Авогадро — число молекул в 1 моле любого вещества. Обозначается буквой N_A , и $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Количество вещества — число молей в данной порции вещества. Обозначается буквой ν , измеряется в молях (моль). Количество вещества равно $\nu = \frac{m}{M}$ или $\nu = \frac{N}{N_A}$, где m — масса вещества; M — молярная масса (кг/моль);

N — число молекул в веществе. Тогда $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$.

Молярная масса — масса вещества, взятого в количестве 1 моля. Обозна-

Условия главных дифракционных максимумов имеют вид: $d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$, где $d = \frac{l}{N}$ – постоянная или период дифракционной решетки (м); θ – угол отклонения лучей от нормали к плоскости щели; λ – длина волны; m – порядковый номер дифракционного максимума или спектра ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$); l – длина решетки, на которую приходится N штрихов; N – число штрихов решетки, приходящихся на некоторую длину l решетки.



Основы СТО

1. *Постулаты специальной теории относительности. Принцип относительности Эйнштейна. Пространство и время в специальной теории относительности. Закон взаимосвязи массы и энергии.*

Первый постулат теории относительности носит название *принцип относительности Эйнштейна*: при одних и тех же условиях все физические явления в любой инерциальной системе отсчёта происходят совершенно одинаково.

Второй постулат теории относительности носит название *принцип постоянства скорости света*: скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источников и приёмников и во всех инерциальных системах отсчёта одинакова.

Пространство и время в специальной теории относительности.

При скоростях близких к скорости света наблюдаются релятивистские эффекты:

- *замедление времени* $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, где Δt_0 – интервал времени между двумя событиями, измеренный часами, находящимися в движущейся со скоростью v ИСО; Δt – промежуток времени между этими событиями по часам, находящимися в неподвижной ИСО.

• *сокращение продольных размеров* тела $l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, где l и l_0 – размеры тела в неподвижной и движущейся системах отсчёта.

Закон взаимосвязи массы и энергии: $E_0 = m \cdot c^2$, $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$, $E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$,

где E_0 – энергия покоя тела; ΔE – изменение энергии тела; E – полная энергия тела; m – масса (неподвижного) тела; Δm – изменение массы тела; c – скорость света, равная $3,0 \cdot 10^8$ м/с; v – скорость тела.

- Энергия элементарных частиц может измеряться в МэВ, где $1 \text{ МэВ} \approx$

x_2 — координаты точек с потенциалом φ_1 и φ_2 соответственно.

- Напряженность электростатического поля направлена в сторону убывания потенциала.

4. *Диэлектрики в электростатическом поле. Диэлектрическая проницаемость вещества.*

Проводниками называются вещества, по которым могут свободно перемещаться электрические заряды.

Диэлектриками называются вещества, в которых практически отсутствуют свободные носители зарядов.

Диэлектрическая проницаемость среды — скалярная физическая величина, характеризующая способность диэлектрика поляризоваться под действием электрического поля и равная отношению модуля напряженности E_0 однородного электрического поля в вакууме к модулю напряженности E электрического поля в однородном диэлектрике, внесенном во внешнее поле: $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$. Обозначается буквой ε .

При расчете кулоновских сил взаимодействия между точечными зарядами, напряженности поля и потенциала точечного заряда внутри диэлектрика необходимо руководствоваться формулами, содержащими диэлектрическую проницаемость данной среды: $F = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2}$, $E = \frac{k \cdot |q|}{\varepsilon \cdot r^2}$, $\varphi = \frac{k \cdot q}{\varepsilon \cdot r}$.

5. *Емкость. Конденсаторы. Энергия электростатического поля конденсатора.*

Емкость уединенного проводника определяется отношением заряда q , сообщенного проводнику, к потенциалу φ , который он при этом приобрел: $C = \frac{q}{\varphi}$.

Емкость двух проводников (конденсатора) — физическая величина равная отношению заряда q одного из проводников к напряжению U между ними: $C = \frac{q}{U}$. Обозначается буквой C , измеряется в фарадах (Ф).

Конденсатор – устройство, состоящее из изолированных друг от друга проводников, предназначенное для накопления электрического заряда и энергии. *Плоским* называется конденсатор, состоящий из двух параллельных металлических пластин (обкладок), расположенных на небольшом расстоянии друг от друга и разделенных слоем диэлектрика.

Емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади его обкладок S , диэлектрической проницаемости вещества ε между обкладками и обратно пропорциональна расстоянию между ними d : $C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$, где

ϵ_0 — электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$.

Энергия электростатического поля конденсатора равна половине произведения его электроемкости и квадрата напряжения на обкладках: $W = \frac{C \cdot U^2}{2}$.

• Так как $W = \frac{C \cdot U^2}{2}$ и $C = \frac{q}{U}$, то энергию заряженного конденсатора можно рассчитать, зная любые две величины из трех: C , U , q .

Если конденсатор:

- *отключен* от источника питания, то при изменении емкости конденсатора, заряд конденсатора изменяться *не будет*, т.е. $q_1 = q_2$;
- *подключен* к источнику питания, то при изменении емкости конденсатора, напряжение на конденсаторе изменяться *не будет*, т.е. $U_1 = U_2$.

Постоянный ток

1. *Электрический ток. Условия существования электрического тока. Источники электрического тока. Электрическая цепь. Сила и направление электрического тока. Электрическое сопротивление. Удельное сопротивление. Реостаты. Закон Ома для однородного участка электрической цепи.*

Электропроводность — это способность веществ проводить электрический ток. По электропроводности все вещества делятся на проводники, диэлектрики и полупроводники.

Электрическим током называется упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.

Для существования электрического тока в замкнутой электрической цепи необходимо:

- наличие свободных заряженных частиц;
- наличие внешнего электрического поля, силы которого, действуя на заряженные частицы, заставляют их двигаться упорядоченно;
- наличие источника тока, внутри которого сторонние силы перемещают свободные заряды против направления электростатических (кулоновских) сил.

Источники электрического тока — это устройство, способное поддерживать разность потенциалов и обеспечивать упорядоченное движение электрических зарядов во внешней цепи. Источник электрического тока имеет два полюса (две клеммы), к которым присоединяются концы проводника (внешнего участка цепи). В источниках тока происходит превращение энергии

Сила тока I — скалярная физическая величина, равная отношению заряда Δq , прошедшего через поперечное сечение проводника за промежуток времени

Δt , к этому промежутку: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$. Обозначается буквой I , измеряется в амперах

(А).

- За *направление* тока принято направление движения по проводнику положительно заряженных частиц. В замкнутой цепи электрический ток направлен от положительного полюса (+) источника к отрицательному (-).

ных уменьшенных обратных изображений предметов на фотопленке. При этом предметы могут быть расположены на различном удалении от точки съёмки.

Волновые свойства света

1. *Электромагнитная природа света. Когерентность. Интерференция света. Дифракция света. Дифракционная решетка. Дисперсия света. Спектр.*

Под *светом* в оптике понимают электромагнитные волны с частотами от $1,5 \cdot 10^{11}$ Гц до $3 \cdot 10^{16}$ Гц (длины волн находятся в диапазоне, соответствующем инфракрасному, видимому и ультрафиолетовому излучениям).

Скорость распространения света в вакууме $c = 3,00 \cdot 10^8$ м/с.

Длина волны: $\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu}$, ν — частота (Гц), T — период колебаний (с).

Дисперсия света — зависимость показателя преломления вещества, а также скорости света от его частоты. Цвет зависит от частоты световой волны. Волна определённой частоты называется *монохроматической*.

Длина световой волны в веществе: $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$, где λ — длина волны в вакууме (м), n — абсолютный показатель преломления среды. При переходе в другую среду частота волны не изменяется.

Следствием дисперсии является разложение в спектр пучка белого света при прохождении его через призму.

Когерентность — явление согласованного протекания в пространстве и во времени нескольких колебательных или волновых процессов. Две световые волны одинаковой частоты и имеющие постоянную во времени разность фаз называются *когерентными*.

Интерференция — явление сложения двух и более когерентных волн, приводящее к образованию в пространстве устойчивой картины чередующихся минимумов и максимумов амплитуд результирующего колебания.

Оптическая разность хода волн: $\delta = n_1 \cdot l_1 - n_2 \cdot l_2$, где n_1 и n_2 — абсолютные показатели преломления двух сред соответственно, табличные величины; l_1 и l_2 — расстояния от источников лучей до точки наблюдения (м).

Разность $|l_1 - l_2|$ называют геометрической разностью хода.

Условие *максимума освещенности при интерференции*:

$$\delta = k \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad \varphi_1 - \varphi_2 = k \cdot \pi, \quad \text{где } k = 2m - \text{четное число};$$

условие *минимума освещенности при интерференции*:

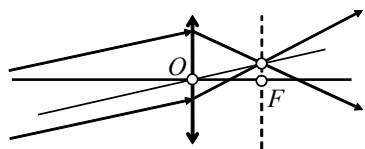
$$\delta = k \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad \varphi_1 - \varphi_2 = k \cdot \pi, \quad \text{где } k = 2m + 1 - \text{нечетное число},$$

λ — длина волны (м); m — некоторое целое число ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

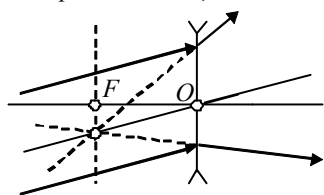
Дифракция света — явление огибания волнами препятствий и проникновение их в «область тени». Для проявления дифракции размеры препятствий (отверстий) должны быть меньше или сравнимы с длиной волны.

Дифракционная решётка — оптический прибор, предназначенный для очень точного измерения длин волн и разложения света в спектр.

для собирающей линзы

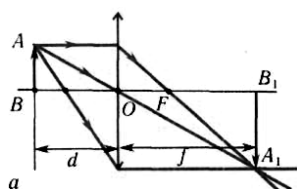


для рассеивающей линзы

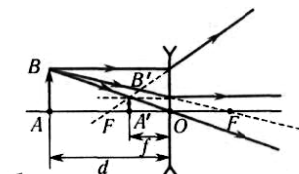


Формула тонкой линзы: $\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$, где F – фокусное расстояние линзы, f – расстояние от изображения до линзы; d – расстояние от предмета до линзы.

Формула тонкой линзы: $\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$, где F – фокусное расстояние линзы, f – расстояние от изображения до линзы; d – расстояние от предмета до линзы.



собирающая линза



рассеивающая линза

Правило знаков: в случае собирающей линзы, действительных источника и изображения величины F , d , f считают положительными; в случае рассеивающей линзы, мнимых источника и изображения величины F , d , f считают отрицательными.

• Предмет или источник являются мнимым в случае, если на линзу падает сходящийся пучок света.

Оптическая сила линзы – величина, обратная фокусному расстоянию линзы: $D = \frac{1}{F}$. Обозначается буквой D , измеряется в диоптриях (дптр).

Для системы тонких линз: $D_0 = D_1 + D_2 + \dots + D_N$, где D_0 – оптическая сила системы вплотную сложенных N тонких линз; $D_1, D_2, D_3, \dots, D_N$ – оптические силы тонких линз системы.

Поперечное увеличение линзы: $\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d}$, где h' – линейный размер изображения; h – линейный размер предмета; f – расстояние от изображения до линзы; d – расстояние от предмета до линзы.

К **оптическим приборам** относятся: лупа, проектор, фотоаппарат.

Лупа – короткофокусная собирающая линза, которая располагается между глазом и предметом. Мнимое увеличенное изображение предмета получается на расстоянии наилучшего зрения – 25 см для нормального глаза (или на бесконечности).

Мультимедийный проектор – оптическое устройство, с помощью которого на экране получают действительное (прямое или обратное) увеличенное изображение, снятое с источника видеосигнала (компьютера, телевизора).

Фотоаппарат – прибор, предназначенный для получения действитель-

Сила тока в проводнике равна $I = q \cdot n \cdot S \cdot \langle v_d \rangle$, где q – заряд одной свободной частицы (для металлов $q = e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), n – концентрация свободных заряженных частиц (м^{-3}), S – площадь поперечного сечения проводника (м^2), $\langle v_d \rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения (скорость дрейфа) свободных зарядов (м/с).

Электрическое сопротивление – величина, характеризующая способность проводника противодействовать прохождению электрического тока. Она равна отношению разности потенциалов ($\varphi_1 - \varphi_2$) между концами данного проводника к силе тока I в нем: $R = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{I}$. Обозначается буквой R , измеряется в омах (Ом). Сопротивление проводника зависит от его материала (вещества), геометрических размеров и температуры.

Сопротивление однородного проводника цилиндрической формы длиной l постоянного поперечного сечения S определяется по формуле $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$, где ρ – удельное сопротивление проводника, табличная величина.

Удельное сопротивление проводника – скалярная физическая величина, численно равная сопротивлению однородного цилиндрического проводника, изготовленного из данного материала и имеющего единичную длину и единичную площадь поперечного сечения ($\rho = R \cdot \frac{S}{l}$). Обозначается буквой ρ , измеряется в Ом·м.

• Если площадь поперечного сечения проводника измеряют в мм^2 , то можно — $[\rho] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Удельное сопротивление металлов с уменьшением температуры уменьшается. При температурах близких к -273 °С (абсолютный нуль) наблюдается явление **сверхпроводимости**. Оно заключается в том, что при температуре ниже некоторой критической t_k (называемой температурой перехода в сверхпроводящее состояние), удельное сопротивление проводника скачком падает до нуля.

Всякий проводник, обладающий достаточно большим сопротивлением будем называть **резистором**. **Реостат** — это прибор, рабочее сопротивление которого можно изменять за счет длины включаемого в цепь проводника.

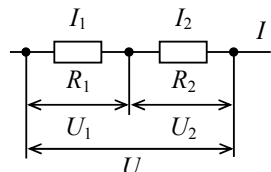
Сочетание источника тока, нагрузки и соединительных проводов называют **электрической цепью**. Обычно в цепи используют еще и выключатель (ключ).

Закон Ома для однородного участка цепи. Сила тока I на однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению U на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению R : $I = \frac{U}{R}$.

2. Последовательное и параллельное соединения проводников.

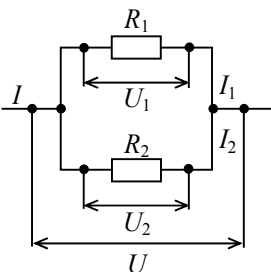
Закономерности последовательного соединения резисторов:

- $I = I_1 = I_2 = \dots = I_N; U = U_1 + U_2 + \dots + U_N;$
 $R = R_1 + R_2 + \dots + R_N;$
- если $R_1 = R_2 = \dots = R_N,$ то $R = N \cdot R_1,$
 $U = N \cdot U_1.$



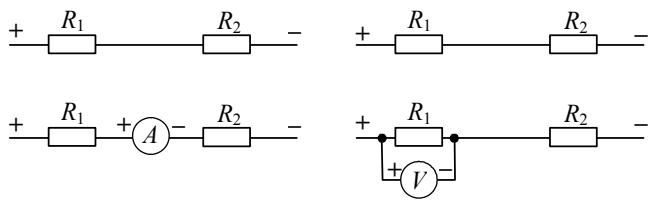
Закономерности параллельного соединения резисторов:

- $I = I_1 + I_2 + \dots + I_N; U = U_1 = U_2 = \dots = U_N;$
 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N};$
- если $R_1 = R_2 = \dots = R_N,$ то $R = \frac{R_1}{N}, I = N \cdot I_1.$



Для измерения в проводнике R_1 силы тока применяют *амперметр*, который включают последовательно с этим проводником (рис. а). Поскольку включение амперметра в электрическую цепь не должно сильно изменять силу тока в ней, то сопротивление амперметра должно быть как можно меньше. У идеальных амперметров сопротивление равно нулю.

Для измерения на проводнике R_1 напряжения применяют *вольтметр*, который включают параллельно этому проводнику (рис. б). Чтобы подключение вольтметра существенно не изменяло силу тока и распределение напряжений на участке цепи, его сопротивление должно быть как можно большим.



- При включении этих приборов необходимо соблюдать полярность.

3. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля-Ленца. Электродвижущая сила источника тока. Закон Ома для полной электрической цепи. Коэффициент полезного действия источника тока.

Работа тока на участке цепи равна произведению силы тока I , напряжения U на этом участке и времени Δt , в течении которого ток проходил по проводнику: $A = U \cdot I \cdot \Delta t$.

- С учетом закона Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$, работа тока:

3. Линзы. Фокусное расстояние и оптическая сила тонкой линзы. Построение изображений в тонких линзах. Формула тонкой линзы. Оптические приборы.

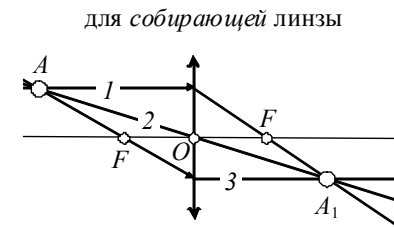
Линза – прозрачное тело, ограниченное с двух сторон криволинейными (чаще всего сферическими) поверхностями.

Главный фокус F линзы – точка, в которую собирается парааксиальный пучок света после преломления в линзе, распространяющийся параллельно главной оптической оси. Расстояние от оптического центра линзы до его главного фокуса называется *фокусным расстоянием* линзы.

При построении изображения точек выбирают любые два из трех стандартных лучей.

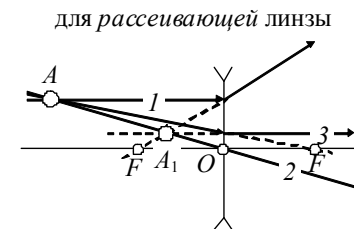
Для собирающей линзы:

1. луч, параллельный главной оптической оси, после преломления проходит через главный фокус;
2. луч, совпадающий с побочной оптической осью, проходит без преломления через центр линзы;
3. луч, проходящий через главный фокус перед линзой, после преломления идет параллельно главной оптической оси.



Для рассеивающей линзы:

1. луч, параллельный главной оптической оси, после преломления направлен так, что его продолжение проходит через главный фокус перед линзой;
2. луч, совпадающий с побочной оптической осью, проходит без преломления через центр линзы;
3. луч, направленный на главный фокус за линзой, после преломления идет параллельно главной оптической оси.



Виды изображения: 1) действительное (если оно образовано самими лучами) или мнимое (если оно образовано не самими лучами, а их продолжениями); 2) прямое или перевернутое; 3) увеличенное или уменьшенное.

При построении можно воспользоваться следующим свойством: все лучи света, направленные параллельно побочной оптической оси, после преломления собираются в побочном фокусе.

- Все побочные фокусы лежат на фокальной плоскости, проходящей перпендикулярно главной оптической оси.
- В собирающей линзе пересекаются в фокальной плоскости преломленные лучи (поэтому рассматривают фокальную плоскость, лежащую за линзой).
- В рассеивающей линзе пересекаются в фокальной плоскости продолжения преломленных лучей (фокальная плоскость, лежащая перед линзой).

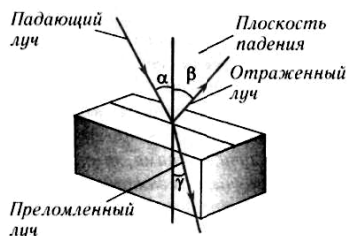
при прохождении через границу раздела двух сред.

Закон преломления световых лучей:

- отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления γ есть величина постоянная для данных двух сред: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}$,

где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй сред соответственно, табличные величины.

- падающий и преломлённые лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведённым в точке падения луча к плоскости границы раздела двух сред.



Показатель преломления среды равен: $n = \frac{c}{v}$, где v – скорость света в данной среде (м/с); c – скорость света в вакууме

- Словосочетание «абсолютный показатель преломления среды» часто заменяют «показатель преломления среды»

Относительный показатель преломления первой среды относительно второй $n_{1/2} = \frac{n_1}{n_2}$, $n_{1/2} = \frac{v_2}{v_1}$, n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй сред соответственно, табличные величины; v_1 и v_2 – скорости света в первой и второй средах соответственно (м/с).

- Если в задаче упоминается только одна среда, то другой, по умолчанию, является воздух.
- Показатель преломления воздуха, если нет специальных оговорок, можно принять равным 1,0.

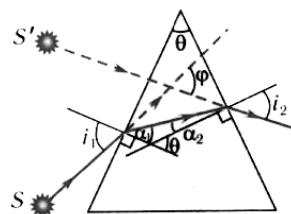
При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду можно наблюдать *полное отражение*, т.е. свет не будет попадать во вторую среду. Угол, при котором начинается полное отражение, называется предельным углом полного отражения

(α_0): $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$, n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй сред соответственно, табличные величины.

Призма. Ход лучей в призме.

Если *призма* изготовлена из материала с оптической плотностью больше, чем окружающая среда, то такая призма преломляет лучи к основанию призмы и наоборот.

Грани, через которые проходит луч, называются преломляющими гранями; их ребро – преломляющим ребром, а угол θ между ними – преломляющим углом призмы. Угол φ между направлениями входящего и выходящего лучей называется углом отклонения: $\varphi = i_1 + i_2 - \theta$



$$A = I^2 \cdot R \cdot \Delta t \text{ или } A = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t, \text{ где } R \text{ — сопротивление участка (Ом).}$$

Прохождение тока через проводник, обладающий сопротивлением, всегда сопровождается *выделением теплоты*. Если на участке цепи не совершается механическая работа и ток не производит химического или иного действия, то $A = Q$, где Q – количество теплоты, выделяемое проводником с током (Дж).

Закон Джоуля-Ленца. Количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока I , сопротивления R и времени Δt прохождения тока по проводнику: $Q = I^2 \cdot R \cdot \Delta t$.

Мощность тока в нагрузке равна работе, которая совершается током за единицу времени: $P = \frac{A}{\Delta t}$, где Δt – время прохождения тока. Обозначается буквой P , измеряется в ваттах (Вт).

- Так как $A = U \cdot I \cdot \Delta t$, а $I = \frac{U}{R}$, то мощность тока можно также найти, если известны любые две величины из трех: I, U, R :

$$P = U \cdot I, P = I^2 \cdot R \text{ или } P = \frac{U^2}{R}.$$

В источнике тока следует непрерывно разделять электрические заряды противоположных знаков, которые под действием сил Кулона стремятся соединиться. Для этой цели необходимы силы иной природы

Сторонние силы – это силы неэлектростатической природы (отличные от кулоновских), действующие на свободные заряды.

Электродвижущая сила (ЭДС) – скалярная физическая величина, численно равна работе сторонних сил $A_{ст}$ по перемещению единичного положительного (пробного) заряда по замкнутой цепи: $\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$, где q – величина перемещаемого заряда. Обозначается буквой \mathcal{E} (ЭДС), измеряется в вольтах (В).

Закон Ома для полной цепи. Сила тока I в полной цепи прямо пропорциональна ЭДС \mathcal{E} источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи R_0 : $I = \frac{\mathcal{E}}{R_0} = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$, где R – внешнее сопротивление цепи; r – сопротивление источника.

Мощность, выделяемая на внешнем участке цепи, называется *полезной мощностью*. Она равна $P_{пол} = I^2 \cdot R$.

Мощность, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника, называется *теряемой мощностью*. Она равна $P_{тер} = I^2 \cdot r$.

Полная мощность источника тока равна $P = P_{пол} + P_{тер}$ или $P = I \cdot \mathcal{E}$.

Коэффициент полезного действия (КПД) источника тока определяется как отношение полезной мощности к полной: $\eta = \frac{P_{пол}}{P} \cdot 100\% = \frac{R}{R + r} \cdot 100\%$, где R – внешнее сопротивление цепи; r – сопротивление источника тока.

4. *Электрический ток в металлах, электролитах, полупроводниках, газах и вакууме.*

Электрический ток в металлах – направление (упорядоченное) движение свободных электронов.

Газы в естественном состоянии не проводят электричества. Проводниками могут быть только ионизированные газы, в которых содержатся электроны, положительные и отрицательные ионы. *Ионизация* – процесс присоединения (захвата) или отделения (отрыва) электронов от нейтральных атомов и молекул. Явление прохождения электрического тока через газ называется *газовым разрядом*.

Плазма – агрегатное состояние вещества, характеризующееся высокой степенью ионизации его частиц, причем концентрации положительно и отрицательно заряженных частиц приблизительно равны.

Вакуум – состояние газа при давлении меньше атмосферного. Поскольку в вакууме нет свободных носителей заряда, то он является идеальным диэлектриком. Для того чтобы в вакууме мог проходить электрический ток, в нем, при помощи термоэлектронной эмиссии, «создают» некоторую концентрацию свободных электронов. *Термоэлектронной эмиссией* называется испускание электронов вещества при его нагревании.

Для того чтобы жидкость проводила электрический ток, необходимо, чтобы произошла *электролитическая диссоциация*, т.е. распад молекул вещества на ионы при растворении его в жидкости. Раствор при этом называют *электролитом*. *Электрическим током в жидкости* называется направленное движение ионов под действием приложенного электрического поля. Прохождение тока через электролит сопровождается химическими реакциями на электродах, что приводит к выделению на них химических элементов, входящих в состав электролита. Это явление получило название *электролиза*.

Электрический ток в полупроводниках – это направленное движение электронов из зоны проводимости и дырок из валентной зоны. Такая проводимость полупроводника называется *собственной*. Добавка специальных примесей создает проводимость преимущественно электронного или дырочного типа. Полупроводники получили название *p*-типа в случае дырочной проводимости и *n*-типа – в случае электронной.

Магнитное поле. Электромагнитная индукция

1. *Постоянные магниты. Взаимодействие магнитов. Магнитное поле. Индукция магнитного поля. Графическое изображение магнитных полей. Принцип суперпозиции магнитных полей.*

Уже в VI в. до н. э. было известно, что некоторые руды обладают способностью притягиваться друг к другу и притягивать на расстоянии железные предметы. Они получили названия *магнитов* (естественных магнитов). Магниты имеют два полюса — северный и южный. Одноименные магнитные полюсы *отталкиваются*, разноименные — *притягиваются*.

Вокруг любого магнита существует *магнитное поле*. Действие одного

точника. Например, $\lambda = AB = CD = EF$.

Скорость волны (v) – скорость перемещения гребня волны:

$$v = \frac{\lambda}{T}, \quad v = \lambda \cdot \nu.$$

Электромагнитное поле, распространяющееся в вакууме или в какой-либо среде с течением времени с конечной скоростью, называется *электромагнитной волной*. Электромагнитные волны являются *поперечными*.

• Скорость радиоволны в вакууме (воздухе) примерно равна $3 \cdot 10^8$ м/с. В другой среде $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$, $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$, где v – скорость электромагнитной волны в

среде (м/с); c – скорость электромагнитной волны в вакууме (м/с); ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, табличная величина; ϵ_0 – электрическая постоянная; μ_0 – магнитная постоянная.

Скорость распространения волны в вакууме является предельной.

Краткий справочник по теме «Оптика. СТО»

Геометрическая оптика

1. *Источники света. Прямолинейность распространения света. Скорость распространения света. Отражение света. Закон отражения света. Зеркала. Построение изображений в плоском зеркале.*

Световой луч – линия, вдоль которой распространяется свет.

Волновой фронт – геометрическое место точек в пространстве, до которых дошло волновое возмущение в данный момент времени. *Луч* – линия, перпендикулярная волновому фронту.

Закон прямолинейного распространения света: свет в прозрачной однородной среде распространяется прямолинейно.

Законы отражения света:

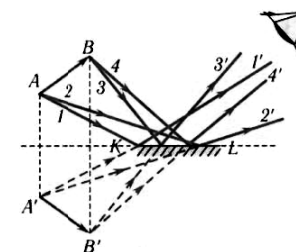
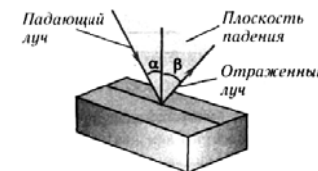
- угол отражения равен углу падения ($\beta = \alpha$);
- луч падающий, луч отражённый и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости.

Существуют два вида отражения: *зеркальное* и *рассеянное*.

Изображение предмета в плоском зеркале является мнимым, прямым, по размерам равным предмету и находится на таком же расстоянии за зеркалом, на котором расположен предмет перед зеркалом.

2. *Закон преломления света. Показатель преломления. Полное отражение. Призма. Ход лучей в призме.*

Преломление света – изменение направления распространения луча света



ся по формуле Томсона: $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$, где C – емкость конденсатора (Ф); L – индуктивность катушки (Гн).

Полная энергия колебательного контура W равна

$$W = W_{\text{эл max}} = W_{\text{маг max}} = W_{\text{эл}} + W_{\text{маг}},$$

где $W_{\text{эл max}} = \frac{C \cdot U_m^2}{2}$ – максимальная энергия электрического поля колебательного контура; $W_{\text{эл}} = \frac{C \cdot u^2}{2}$ – энергия электрического поля колебательного контура в данный момент времени; $W_{\text{маг max}} = \frac{L \cdot I_m^2}{2}$ – максимальная энергия магнитного поля колебательного контура; $W_{\text{маг}} = \frac{L \cdot i^2}{2}$ – энергия магнитного поля колебательного контура в данный момент времени.

Переменный ток – это ток, сила и направление которого периодически меняются.

Переменный электрический ток представляют собой вынужденные электромагнитные колебания в электрической цепи.

Действующим значением силы переменного тока I называется такая сила постоянного тока, который, проходя по цепи, выделяет в единицу времени такое же количество теплоты, что и данный переменный ток: $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$, $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$,

где I_m – амплитудное значение силы тока (А); U – действующее значение напряжения (В); U_m – амплитудное значение напряжения (В).

• **Амперметр** показывает действующее значение силы тока.

• **Вольтметр** показывает действующее значение напряжения.

Механические и электромагнитные волны

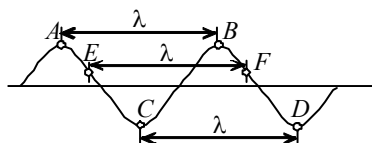
1. Распространение колебаний в упругой среде. Поперечные и продольные волны. Скорость распространения волны, частота и длина волны, связь между ними. Электромагнитные волны и их свойства. Скорость распространения электромагнитных волн.

Механической волной – процесс распространения колебаний в упругой среде, сопровождающийся передачей энергии от одной точки среды к другой.

Волна называется **продольной**, если колебания частиц среды происходит вдоль направления распространения волн.

Волна называется **поперечной**, если частицы среды колеблются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Длина волны (λ) – это наименьшее расстояние между двумя точками, колебания в которых происходят в одинаковой фазе, т.е. это расстояние, на которое волна распространяется за промежуток времени, равный периоду колебаний ис-



магнита на другой можно рассматривать как результат взаимодействия одного магнита с магнитным полем другого.

Силовой характеристикой магнитного поля в каждой точке пространства является **вектор индукции магнитного поля \vec{B}** . Модуль индукции магнитного поля определяется как отношение максимальной магнитной силы F_{max} , действующей на проводник с током единичной длины, к силе тока I : $B = \frac{F_{\text{max}}}{l \cdot I}$, где l – длина проводника. Обозначается буквой B , измеряется в теслах (Тл).

Индукция магнитного поля:

• бесконечного прямолинейного проводника с током в данной точке поля $B_{\text{пр}} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot l}$, где l – расстояние от проводника до данной точки;

• в центре кругового тока (кольца) $B_{\text{кр}} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2r}$, где r – радиус кольца с током;

• внутри (середине) цилиндрической катушки (соленоида) $B_c = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{l}$, где N – число витков катушки; l – длина катушки; μ_0 – магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$; I – сила тока.

Для магнитного поля выполняется **принцип суперпозиции**: если магнитное поле в данной точке пространства создается несколькими проводниками с током, то индукция \vec{B} результирующего поля есть векторная сумма индукций полей $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots, \vec{B}_n$, создаваемых каждым проводником с током в отдельности: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$.

За **направление** вектора магнитной индукции принимают следующие направления:

• для **магнитной стрелки** (свободно вращающейся в магнитном поле) – от южного (S) полюса стрелки к северному (N) (рис. 1 а);

• для **плоского магнита**: вдоль магнита – от южного (S) полюса магнита к северному (N) (рис. 1 б), по бокам магнита – от северного (N) полюса магнита к южному (S) (рис. 1 в – пунктиром показаны линии индукции);

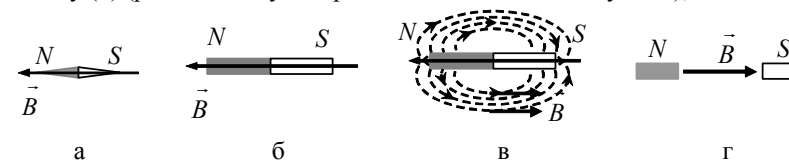


Рис. 1.

• между **полюсами магнитов** (подковообразного магнита) – от северного (N) полюса магнита к южному (S) (рис. 1 г).

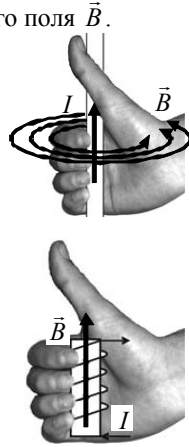
Графически магнитные поля изображаются с помощью специальных линий, называемых **линиями индукции магнитного поля**. Касательная к любой

линии в каждой точке направлена вдоль индукции магнитного поля \vec{B} .

Для определения направления вектора магнитной индукции проводника с током применяют *правило буравчика* или *правило правой руки*:

а) для *прямого проводника* с током правило правой руки имеет следующий вид: большой палец правой руки, отставленный на 90° , направляем по току, тогда четыре согнутых пальца, обхватывающие проводник, укажут направление вектора магнитной индукции.

б) для *витка* (катушки) с током правило правой руки имеет следующий вид: четыре согнутых пальца правой руки, обхватывающей виток (катушку), направляем по току, тогда большой палец, отставленный на 90° , укажет направление вектора магнитной индукции в центре витка (рис. б).



⊗ ⊙
от нас к нам

Для изображения векторов, перпендикулярных плоскости рисунка применяют условные обозначения.

2. Взаимодействие проводников с током. Закон Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле.

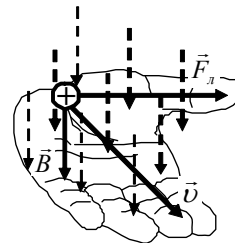
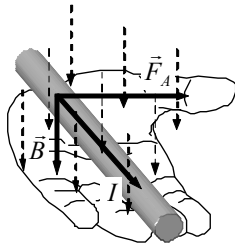
Сила Ампера – это сила, с которой магнитное поле действует на отдельный участок проводника с током.

Закон Ампера. Модуль силы, с которой магнитное поле действует на находящийся в нем прямолинейный проводник с током, равен произведению индукции B этого поля, силы тока I , длины участка проводника l и синуса угла α между направлениями тока и индукции магнитного поля: $F_A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$.

Для определения направления силы Ампера применяют *правило левой руки*: если ладонь левой руки расположить так, чтобы перпендикулярная составляющая к проводнику вектора индукции (\vec{B}) входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали бы направление тока (I), то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Ампера (\vec{F}_A).

Сила Лоренца – это сила, с которой магнитное поле действует на движущийся заряд. Она равна $F_L = q \cdot B \cdot v \cdot \sin \alpha$, где F_L — сила Лоренца (Н); q — модуль заряда движущейся частицы; v — скорость частицы; B — модуль вектора индукции магнитного поля (Тл); α — угол между скоростью движения положительного заряда и вектором магнитной индукции.

Для определения направления силы Лоренца применяют *правило левой руки*: если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная составляющая к скорости частицы (\vec{v}) магнитной индукции (\vec{B}) входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указы-



• Так как при гармонических колебаниях силами сопротивления в колебательной системе пренебрегают, то полная механическая энергия такой системы сохраняется.

• для *математического маятника*

$W_{p \max} = m \cdot g \cdot h_{\max}$ – максимальная потенциальная энергия маятника;

$W_p = m \cdot g \cdot h$ – потенциальная энергия маятника в данный момент времени;

h_{\max} – максимальное (амплитудное) значение высоты подъема тела от положения равновесия; h – высота подъема тела от положения равновесия в данный момент времени;

• для *пружинного маятника*

$W_{p \max} = \frac{k \cdot \Delta l_{\max}^2}{2}$ – максимальная потенциальная энергия маятника;

$W_p = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$ – потенциальная энергия маятника в данный момент времени;

$\Delta l_{\max} = A$ – максимальное (амплитудное) смещение тела от положения равновесия; Δl – смещение тела от положения равновесия в данный момент времени.

2. Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания в контуре. Формула Томсона. Превращения энергии в идеальном колебательном контуре. Переменный электрический ток. Действующие значения силы тока и напряжения.

Колебательный контур – электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора электроемкостью C и катушку (соленоид) индуктивностью L и электрического сопротивления R .

В идеальном колебательном контуре электрическое сопротивление $R = 0$.

Свободными электромагнитными колебаниями в контуре называют периодические изменения заряда на обкладках конденсатора, силы тока в контуре и разности потенциалов на обоих элементах контура, происходящие без потребления энергии от внешних источников.

Уравнения *электромагнитных гармонических колебаний* имеют вид:

<p><i>синусоидальные</i></p> $q = Q_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0),$ $i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0),$ $u = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0),$ $e = \mathcal{E}_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0),$	<p><i>косинусоидальные</i></p> $q = Q_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0),$ $i = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0),$ $u = U_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0),$ $e = \mathcal{E}_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0),$
--	--

где q и Q_m – мгновенное и амплитудное (максимальное) значения заряда (Кл); i и I_m – мгновенное и амплитудное значения силы тока (А); u и U_m – мгновенное и амплитудное значения напряжения (В); e и \mathcal{E}_m – мгновенное и амплитудное значения ЭДС (В), ω – циклическая частота колебания (рад/с); t – время (с); $\varphi_{01}, \varphi_{02}, \dots, \varphi_{08}$ – начальные фазы колебаний (рад).

Период T свободных электромагнитных колебаний в контуре определяет-

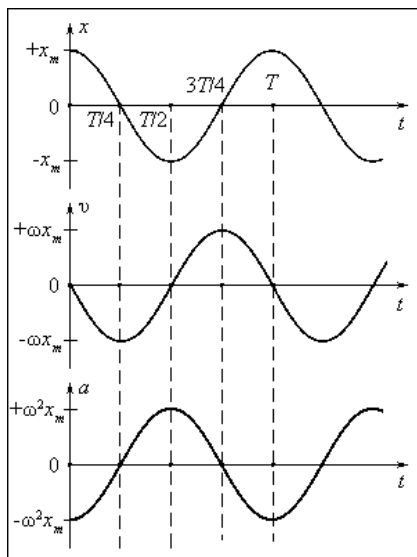
$$T = \frac{t}{N}, \quad v = \frac{N}{t}, \quad v = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{1}{v}, \quad \text{где } N$$

– число колебаний.

• Максимальное значение скорости колебания v_{\max} и амплитуда A связаны соотношением $v_{\max} = A \cdot \omega$;

• максимальное значение ускорения колебания a_{\max} и амплитуда A связаны соотношением $a_{\max} = A \cdot \omega^2$.

Зависимость координаты, проекции скорости и проекции ускорения от времени при колебательном движении:



Математическим маятником называется материальная точка массой m , подвешенная на невесомой нерастяжимой нити длиной l в поле каких-либо сил. Период малых колебаний T математического маятника в поле силы

тяжести Земли определяется по формуле: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$, где l – длина подвеса

маятника; g – ускорение свободного падения, у поверхности Земли равно $9,8 \text{ м/с}^2$.

• Если математический маятник находится в однородном поле нескольких сил, то $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g^*}}$, где $\vec{g}^* = \vec{g} + \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \dots$ – эффективное ускорение, характеризующее результирующее действие этих сил.

Простейшая колебательная система может быть получена с использованием груза и прикрепленной к нему пружины, второй конец которой зафиксирован. Такая система называется *пружинным маятником*. Период колебаний T

пружинного маятника определяется по формуле: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$, где m – масса

тела на пружине; k – коэффициент жесткости пружины $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.

При гармонических колебаниях полная механическая энергия тела равна

$$W = W_{k \max} = W_{p \max} = W_k + W_p,$$

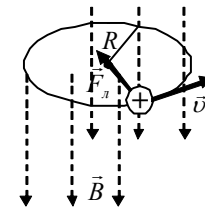
где $W_{k \max} = \frac{m \cdot v_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия маятника;

$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$ – кинетическая энергия маятника в данный момент времени; m – масса тела; v_{\max} – максимальное (амплитудное) значение скорости тела; v – значение скорости тела в данный момент времени;

вали бы направления движения *положительно заряженной частицы*, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Лоренца (\vec{F}_L), действующей со стороны магнитного поля на частицу. Для *отрицательно заряженной частицы* направление силы будет противоположным по отношению к положительной частице.

1. Если скорость v заряженной частицы массой m направлена *вдоль* вектора магнитной индукции поля, то частица будет двигаться равномерно прямолинейно (сила Лоренца $F_L = 0$, т.к. $\alpha = 0^\circ$).

2. Если скорость v заряженной частицы массой m *перпендикулярна* вектору индукции магнитного поля, то частица будет двигаться по окружности радиуса R , плоскость которой перпендикулярна линиям магнитной индукции.



Для расчета характеристик движения заряженной частицы можно применять следующие формулы:

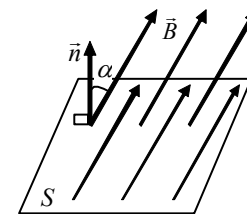
$m \cdot a_{\text{ц}} = F_L$ (2-ой закон Ньютона), где $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}$; $F_L = q \cdot B \cdot v \cdot \sin \alpha = q \cdot B \cdot v$, т.к. α

$= 90^\circ$ (скорость частицы перпендикулярна вектору магнитной индукции). Тогда $\frac{m \cdot v^2}{R} = q \cdot v \cdot B$. Напоминаю, что период вращения равен $T = \frac{2\pi \cdot R}{v}$, где R

– радиус окружности; v – скорость частицы.

3. *Магнитный поток. Явление электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца.*

Для характеристики числа линий индукции магнитного поля, пронизывающих некоторую площадку, вводится физическая скалярная величина, называемая *магнитным потоком* и обозначаемая греческой буквой Φ .



Магнитный поток Φ однородного поля через плоскую поверхность равен произведению модуля индукции B магнитного поля, площади поверхности

S и косинуса угла α между вектором \vec{B} и нормалью \vec{n} (перпендикуляром) к поверхности: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$. Магнитный поток обозначаемая греческой буквой Φ и измеряется в веберах (Вб).

Электромагнитная индукция – это явление возникновения ЭДС индукции при изменении магнитного потока через площадь, ограниченную контуром.

При электромагнитной индукции возникает *вихревое электрическое поле*, которое и заставляет двигаться заряженные частицы (электроны) в проводнике, т.е. создает индукционный ток. В отличие от электростатического вихревое электрическое поле имеет замкнутые линии индукции магнитного поля.

Закон электромагнитной индукции. ЭДС электромагнитной индукции \mathcal{E}_i

в замкнутом контуре равна скорости изменения пронизывающего его магнитного потока, взятого с противоположным знаком: $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, где $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

— изменение магнитного потока от Φ_1 до Φ_2 ; $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ — скорость изменения магнитного потока (Вб/с или В).

- Эту формулу можно применять только при *равномерном изменении* магнитного потока.
- Магнитный поток внутри катушки, состоящей из N витков, равен сумме магнитных потоков, создаваемых каждым витком, т.е. $\Phi = N \cdot \Phi_1$.

Правило Ленца. Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, при котором созданный им собственный магнитный поток через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать изменение внешнего магнитного потока, вызвавшее данный ток.

При движении проводника длиной l со скоростью v в постоянном магнитном поле индукцией B в нем возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = v \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$, где α — угол между направлением скорости движения проводника и вектором индукции магнитного поля.

Индукционный ток в проводниках, движущихся в магнитном поле, возникает за счет действия на свободные заряды проводника силы Лоренца. Поэтому направление индукционного тока в проводнике будет совпадать с направлением составляющей силы Лоренца на этот проводник.

4. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

Самоиндукция — это явление возникновения в контуре ЭДС индукции, создаваемой вследствие изменения силы тока в самом контуре.

Индуктивность — скалярная физическая величина, численно равная собственному магнитному потоку Φ , пронизывающему контур, при силе тока I в контуре 1 А: $L = \frac{\Phi}{I}$. Обозначается индуктивность буквой L , измеряется в генри (Гн).

ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{is} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$, где L — индуктивность катушки (Гн);

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ — скорость изменения силы тока (А/с); $\Delta I = I_2 - I_1$ — изменение силы тока от I_1 до I_2 ; Δt — время изменения силы тока.

- Эту формулу можно применять только при *равномерном изменении* силы тока.

Индуктивность катушки (соленоида) L длиной l и площадью поперечного сечения S , содержащего N витков, в вакууме определяется по формуле

$$L = \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l}, \text{ где } \mu_0 \text{ — магнитная постоянная, равная } 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}.$$

Энергию магнитного поля контура с током I можно определить по фор-

муле $W_m = \frac{L \cdot I^2}{2}$, где L — индуктивность контура (катушки) (Гн).

- Так как $W_m = \frac{L \cdot I^2}{2}$ и $\Phi = L \cdot I$, то энергию магнитного поля тока (катушки) можно рассчитать, зная любые две величины из трех: Φ , L , I :

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2} = \frac{\Phi \cdot I}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}.$$

Краткий справочник по теме «Колебания и волны»

Механические и электромагнитные колебания

1. *Колебательное движение.* Амплитуда, период, частота и фаза колебаний. Уравнение гармонических колебаний. Пружинный и математический маятники. Превращения энергии при колебательных движениях.

Колебательным движением (колебаниями) называют всякий процесс, который обладает свойством повторяемости во времени.

Колебания называются периодическими, если значения физических величин, изменяющихся в процессе колебаний, повторяются через равные промежутки времени.

Отличительными признаками колебательного движения являются: 1) *повторяемость* движения; 2) *возвратность* движения (движение как в прямом, так и в обратном направлении).

Для существования механических колебаний необходимо:

- наличие силы, стремящейся вернуть тело в положение равновесия (при малом смещении из этого положения равновесия)
- наличие малого трения в системе.

Гармонические колебания — это колебания, при которых координата (смещение) тела изменяется со временем по закону косинуса или синуса и описывается формулами:

$$x = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0) \text{ или } x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0),$$

где x — координата тела (смещение тела из положения равновесия) в момент времени t ; *амплитуда* (A) — максимальное смещение x_{\max} тела из положения равновесия; *циклическая частота* (ω) — число полных колебаний за промежуток времени Δt , равный 2π секунд: $\omega = 2\pi \cdot \nu = \frac{2\pi}{T}$ (рад/с); *фаза* ($\varphi = \omega \cdot t + \varphi_0$) — аргумент периодической функции, определяющей значение изменяющейся физической величины в данный момент времени t (рад); *начальная фаза* (φ_0) — определяющие положение тела в начальный момент времени.

Период (T) — длительность одного полного колебания, т.е. наименьший промежуток времени, по истечении которого повторяются значения всех величин, характеризующих колебание. Единицей периода является секунда (1с).

Частота (ν) — число полных колебаний в единицу времени.